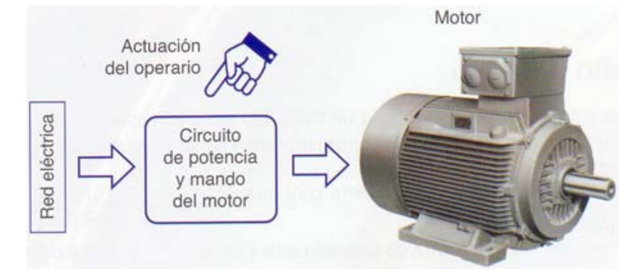
8.- MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA.

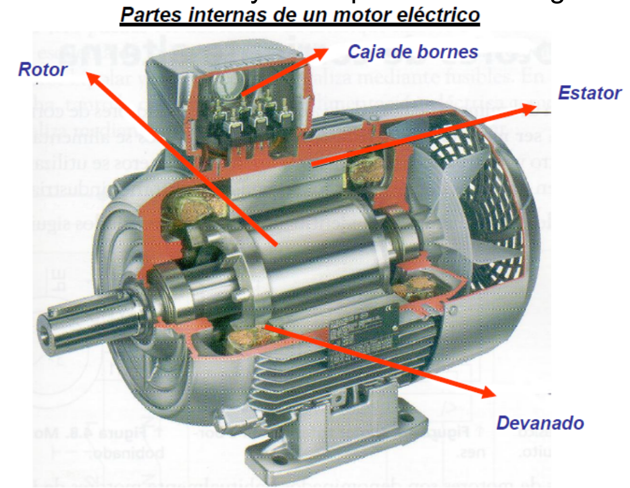
Receptor que al ser alimentado por una corriente eléctrica, produce un movimiento giratorio en su eje. Denominados motores de inducción o asíncronos.

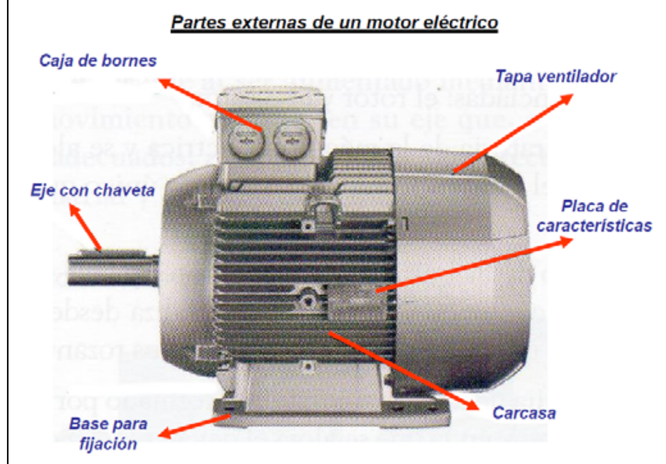
Giran a una velocidad diferente de la síncrona, pudiendo sufrir variaciones con la carga, siempre existe una diferencia de velocidad entre el estator (campo magnético) y el rotor





Su funcionamiento y arranque suele estar gestionado por automatismos eléctricos.



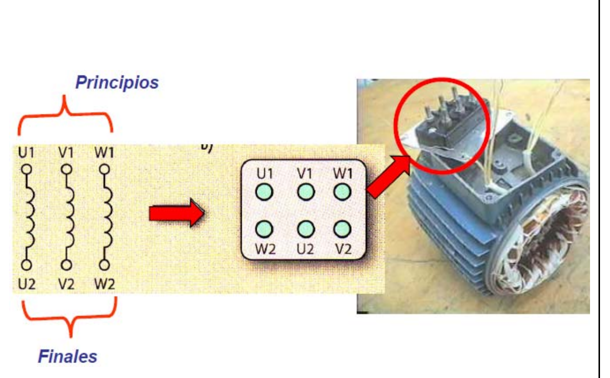


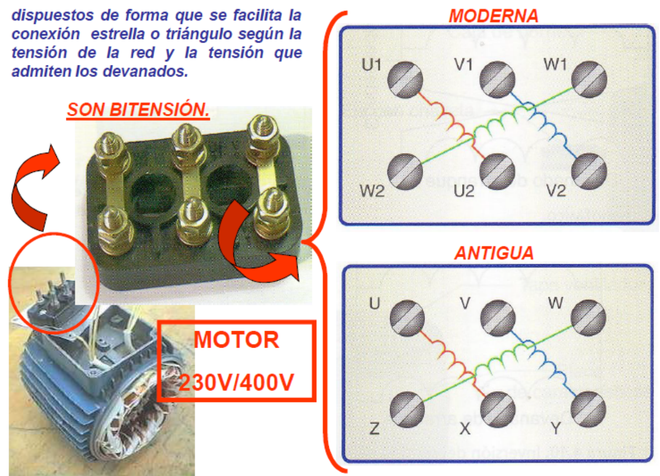
Existen dos tipos diferentes los de jaula de ardilla (los más utilizados) y los de rotor bobinado.

MOTOR ASINCRONO TRIFÁSICO DE JAULA DE ARDILLA.

Disponen en el estator tres devanados, uno por cada fase. Cada devanado tiene dos terminales, un principio y un final, que salen a la caja de bornes.

Dispuestos de forma que se facilita la conexión estrella o triángulo según la tensión de la red y la tensión que admiten los devanados y la tensión de la red de alimentación. Los motores son bitensión.





Ejemplo un ***motor 230V/400V***, se puede conectar ***en líneas de alimentación*** cuya alimentación es de ***230 V en la conexión triángulo*** y a ***líneas de 400 voltios en estrella***.

CONEXIÓN EN TRIÁNGULO

230 V (Tensión menor)

L1 L2 L3 — U2 V1 — U1 V2 — W2 W1

L1 L2 L3 — U1 V1 W1 — W2 U2 V2

MOTOR 230V/400V
LINEA 230V.

CONEXIÓN EN ESTRELLA

400 V (Tensión mayor)

L1 L2 L3 — V1 — V2 W2 U2 — U1 W1

L1 L2 L3 — U1 V1 W1 — W2 U2 V2

MOTOR 230V/400V
LINEA 400V.

La distribución en corriente alterna trifásica en baja tensión son (REBT):

- ***230 V entre fases*** para redes trifásicas de tres conductores.
- ***230 V entre fase y neutro, y 400 V, entre fases***, para redes trifásicas de 4 conductores.

U_L = Voltaje entre fases.

U_F = Voltaje entre fase y neutro.

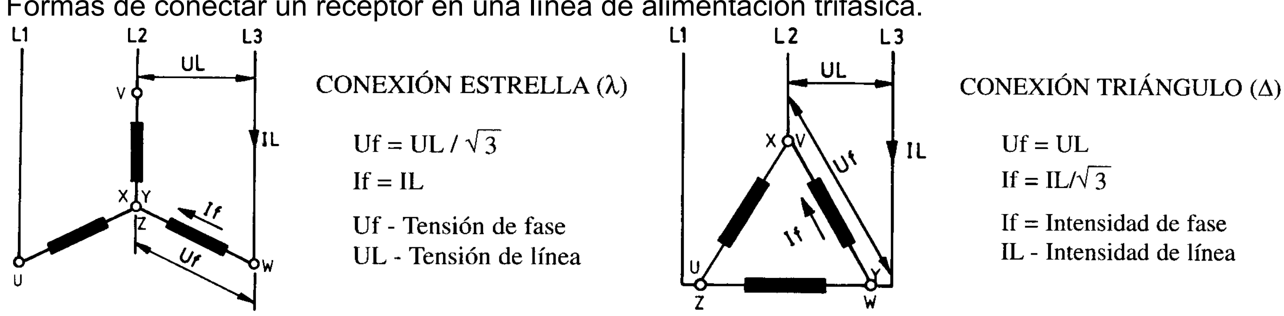
$Uf = UL / \sqrt{3}$

L1 L2 L3 — 230 V 230 V 230 V

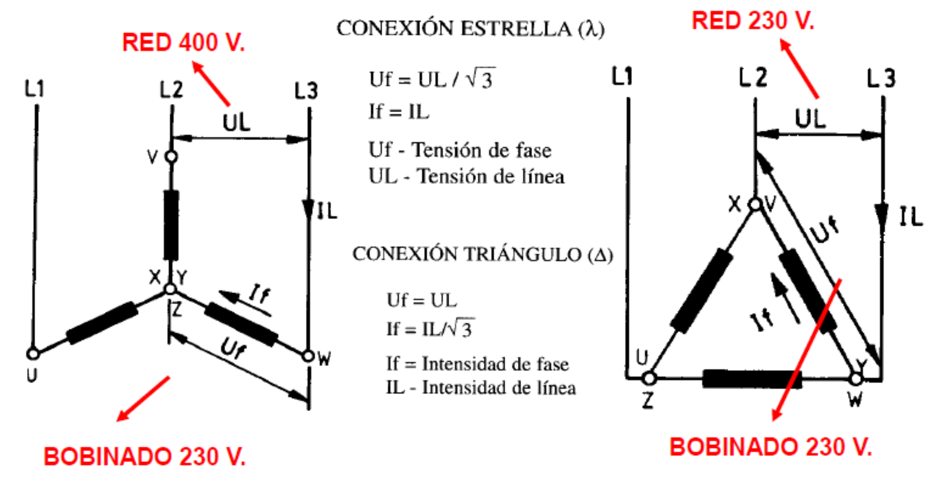
L1 L2 L3 N — 400 V 400 V 400 V 230 V 230 V 230 V

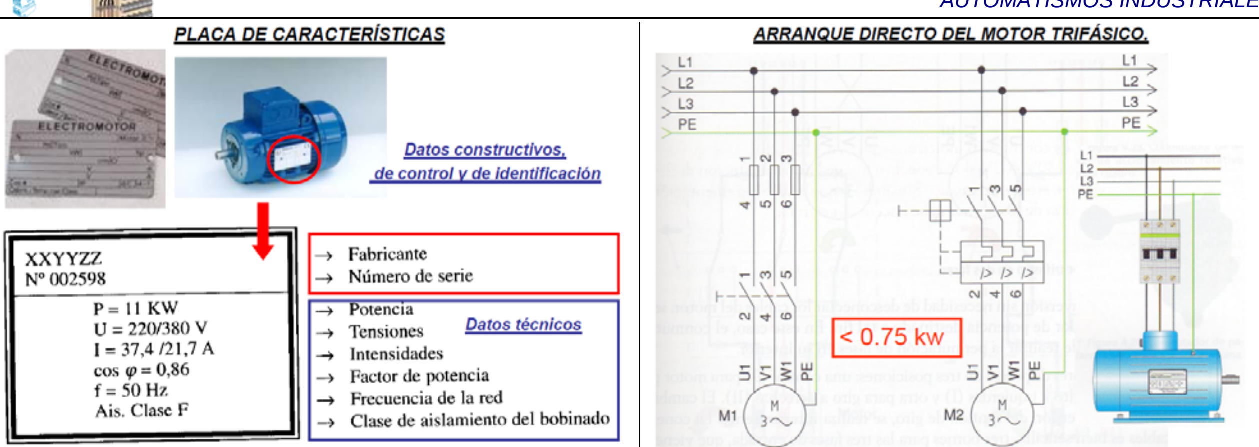
Fig. D1-0

Formas de conectar un receptor en una línea de alimentación trifásica.

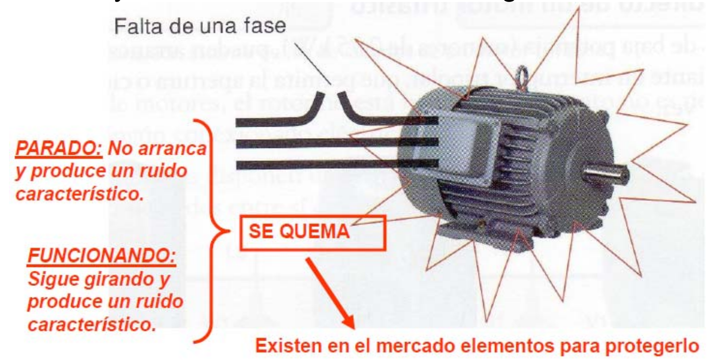


Un ***motor*** de ***230/400 V***, puede conectarse a ***redes de 230 ó 400 V***. ***La tensión menor, es siempre la tensión de funcionamiento. (Tensión que llega a sus bobinados).***

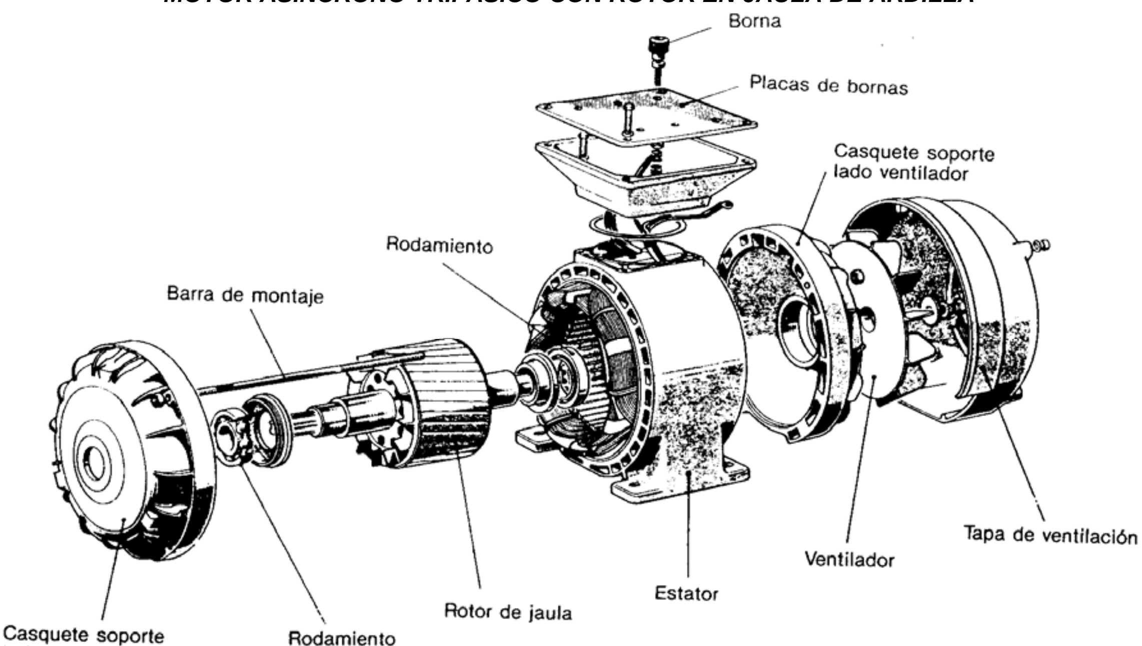


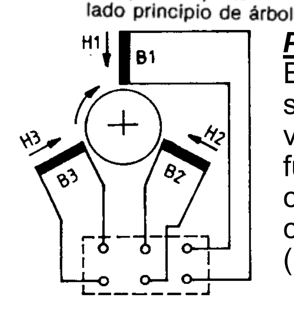


Al faltar una fase, se produce una sobreintensidad en las otras dos, que si perdura en el tiempo sobrecalienta los conductores y los devanados del motor, llegando a destruirlos.



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO CON ROTOR EN JAULA DE ARDILLA



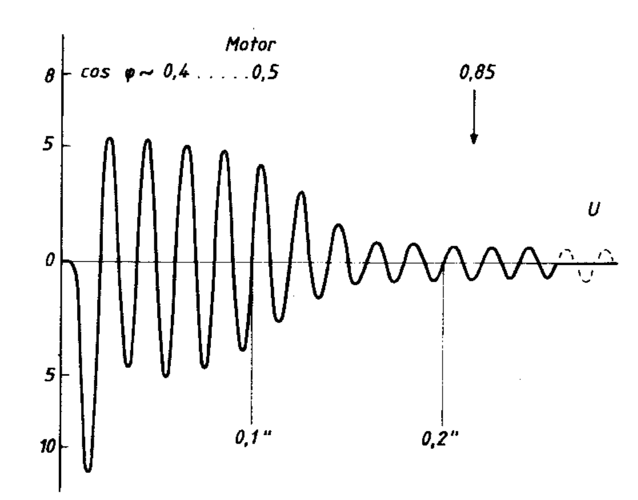


Principio de funcionamiento.-

El devanado trifásico (desfasado 120º eléctricos) cuando es recorrido por un sistema trifásico de corrientes produce un campo magnético giratorio a la velocidad síncrona n_1 . Induciendo en los conductores del devanado rotórico fuerzas electromotrices (desfasadas 120º eléctricos), las cuales originan corrientes eléctricas que hacen girar e rotor en el mismo sentido que el campo magnético pero con velocidad n_2 ligeramente menor que la síncrona (para que haya corte de flujo por los conductores del rotor).

8.1.- ARRANQUE DEL MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO.

En este tipo de motores la intensidad de arranque se eleva aproximadamente a 12 veces la intensidad nominal. En milisegundos esta corriente se reduce a la intensidad de arranque normal, es decir de 4 a 8 veces el valor de la intensidad nominal. El factor de potencia tiene entonces un valor comprendido entre 0,4 y 0,5. Una vez alcanzada su plena velocidad el consumo del motor queda estabilizada al valor de su intensidad nominal.



Este fenómeno es el principal inconveniente de este tipo de motores, junto con la rigidez en cuanto a la regulación de la velocidad.

Al construirse arrancadores, estos deben obtener una puesta en velocidad para el motor (par de arranque suficiente) y para la máquina accionada manteniendo la intensidad de arranque dentro de unos límites admisibles para la red eléctrica.

Por lo cual el R.E.B.T. *(ITC BT 47)* fija los límites para poder arrancar el motor directamente de la red, teniendo que recurrir a otros sistemas de arranque para los demás casos. (Reduciendo la tensión de alimentación en el momento del arranque, con lo cual se consigue reducir la intensidad durante el mismo).

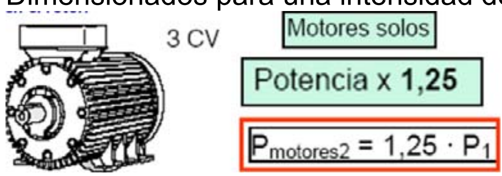
SOBREINTENSIDAD DE ARRANQUE. Los de potencia > a 0,75 kilovatios deben estar provistos de reóstatos de arranque o dispositivos equivalentes que no permitan que la relación de corriente entre el período de arranque y el de marcha normal que corresponda a su plena carga, según las características del motor que debe indicar su placa, sea superior a la señalada en el cuadro siguiente:

MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA		MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA	
Potencia nominal del motor	Constante máxima de proporcionalidad entre la intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga	Potencia nominal del motor	Constante máxima de proporcionalidad entre la intensidad de la corriente de arranque y de la de plena carga
De 0,75 kW a 1,5 kW	2,5	De 0,75 kW a 1,5 kW	4,5
De 1,5 kW a 5,0 kW	2,0	De 1,5 kW a 5,0 kW	3,0
De más de 5,0 kW	1,5	De 5,0 kW a 15,0 kW	2,0
		De más de 15,0 kW	1,5

CALCULO DE LA SECCIÓN DE LOS CONDCUTORES DE ALIMENTACIÓN.

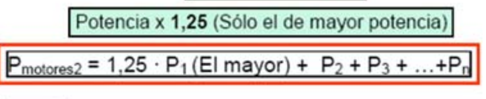
Conductores de conexión (un solo motor).

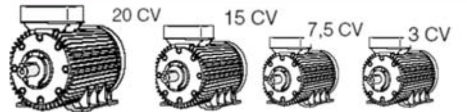
Dimensionados para una intensidad del 125 % de la intensidad a plena carga del motor.

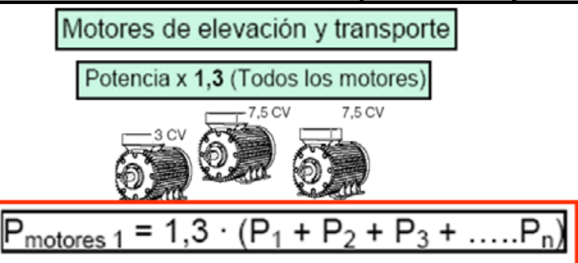


- Motores de rotor devanado, los conductores que conectan el rotor con el dispositivo de arranque ***-conductores secundarios-*** deben estar dimensionados, asimismo, para el ***125 % de la intensidad a plena carga del rotor.***
- En servicio intermitente, los conductores secundarios pueden ser de menor sección según el tiempo de funcionamiento continuado, pero ***en ningún caso tendrán una sección inferior al 85 % de la intensidad a plena carga en el rotor.***

Conductores de conexión (varios motores).







Dimensionados para una intensidad *no inferior a la suma del 125 % de la intensidad a plena carga del motor de mayor potencia, más la intensidad a plena carga de todos los demás.*

Conductores de conexión (elevación y transporte).

Motores de elevación y transporte

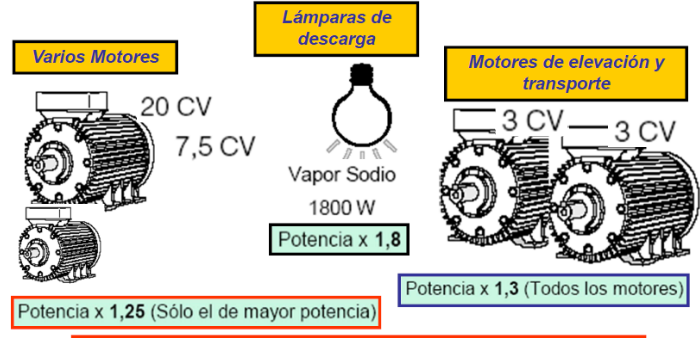
Potencia x **1,3** (Todos los motores)

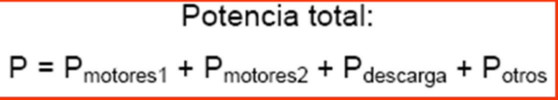
3 CV 7,5 CV 7,5 CV

$$P_{motores\ 1} = 1{,}3 \cdot (P_1 + P_2 + P_3 + \ldots P_n)$$

Sobreintensidad de arranque. Los motores de ascensores, grúas y aparatos de elevación en general, de c.c. y c.a., se computará como intensidad normal a plena carga, a los efectos de las constantes señaladas en los cuadros anteriores, la necesaria para elevar las cargas fijadas como normales a la velocidad de régimen una vez pasado el período de arranque, multiplicada por el coeficiente 1,3.

Conductores de conexión (carga combinada).





FORMULAS PARA CALCULAR LA SECCIÓN		
Conocida la	**Monofásica**	**Trifásica**
Potencia	$S = \frac{2\ L\ P}{C\ e\ U}$	$S = \frac{L\ P}{C\ e\ U}$
Intensidad	$S = \frac{2\ L\ I\ \cos\varphi}{C\ e}$	$S = \frac{1{,}73\ L\ I\ \cos\varphi}{C\ e}$

Factor de potencia **(Cos φ a considerar en ausencia de datos a efectos del cálculo de sección)**
Cos φ = 1 Acumuladores para tarifa nocturna o lámparas incandescentes (circuitos resistivos)
Cos φ = 0,7 a 0,9 Para motores.
Cos φ = 0,85 Para lámparas fluorescentes con condensador (compensadas)
Cos φ = 0,8 Para lámparas de descarga (de sodio y vapor de mercurio)
Cos φ = 0,3 a 0,6 Para lámparas fluorescentes sin condensador (sin compensar)

Factores de corrección **(aplicables a receptores, a efectos del cálculo de sección)**	
Motores solos (ITC 47.3)	Potencia x **1,25**
Varios Motores (ITC 47.3)	Potencia x **1,25** (Sólo el de mayor potencia)
Motores de elevación y transporte (ITC 47.6)	Potencia x **1,3** (Todos los motores)
Lámparas de descarga (ITC 09.3), (ITC 44.3)	Potencia x **1,8**

LEYENDA:

S = Sección de los conductores en mm^2. P = Potencia que se transporta, en vatios.
L = Longitud de la línea, en metros. e = Caída de tensión, en voltios.
C = Conductividad, (m/Ω mm^2). U = Tensión, en voltios

Para tomar el valor de la conductividad (C) se tendrá en cuenta el tipo de material y la temperatura máxima de servicio.

TEMPERATURA (en ºC)		70º	90º
TIPO DE AISLAMIENTO		PVC	XLPE ó EPR
MATERIAL	Cobre	48	44
	Aluminio	30	28

Para el caso de **derivaciones individuales** los cables serán no propagadores del incendio y con baja emisión de humos y opacidad reducida, según UNE 21102 para conductores de 450/750 V (ES07Z1-K, H07Z1-K) y según UNE 21123-4 (RZ1-K), o UNE 21123-5 (DZ1-K) para 0,6/1 kV.

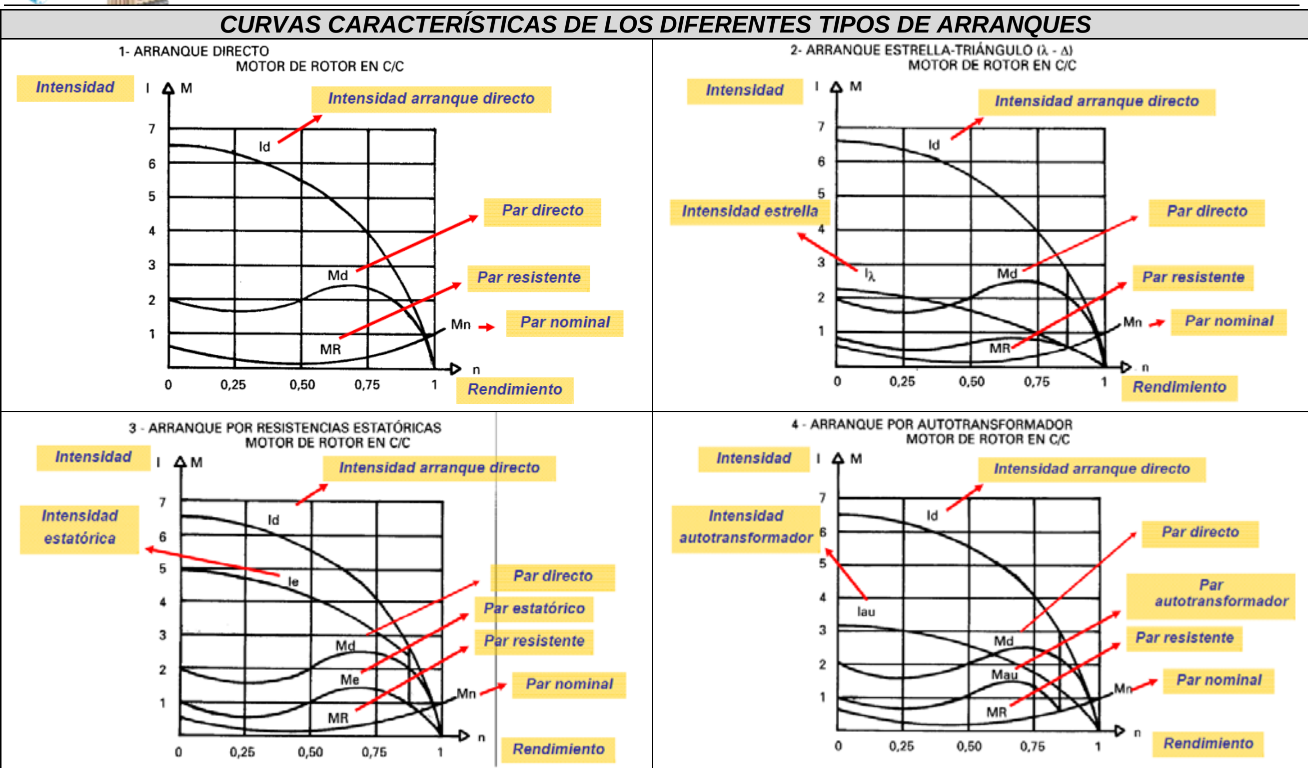
8.2.- TIPOS DE ARRANQUES:

1. Arranque directo
2. Arranque estrella – triángulo.
3. Arranque mediante resistencias estatóricas.
4. Arranque mediante autotransformador.
5. Arranque mediante arrancador electrónico
6. Arranque mediante resistencias rotóricas. (Solo motores de rotor bobinado)

CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE ARRANQUE

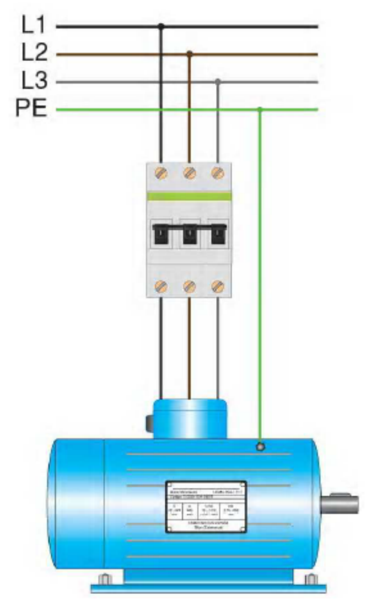
	Motores de jaula de ardilla					Motores de anillos rozantes
	Arranque directo	Arranque estrella-triángulo	Arranque part-winding	Arranque por resistencias estatóricas	Arranque con autotransformador	Arranque por resistencias rotóricas
Intensidad de arranque	De 4 a 8 In	1,3 a 2,6 In	De 2 a 4 In	4,5 In	1,7 a 4 In	< 2,5 In
Par de arranque	0,6 a 1,5 Mn	0,2 a 0,5 Mn	0,3 a 0,75 Mn	0,6 a 0,85 Mn	0,4 a 0,85 Mn	< 2,5 Mn
Ventajas	Motor de jaula de ardilla económico y robusto					
	· Arrancador simple. · Par de arranque importante.	· Arrancador relativamente barato. · Buena relación par/intensidad.	· Arranque simple. · Par de arranque más elevado que en Y-Δ. · No hay corte de alimentación durante el arranque	· Posibilidad de regulación de los valores de arranque. · No hay corte de alimentación durante el arranque.	· Buena relación par/intensidad. · Posibilidad de regulación de los valores de arranque. · No hay corte de alimentación durante el arranque	· Muy buena relación par/intensidad. · Posibilidad de regulación de los valores de arranque. · No hay corte de la alimentación en el arranque.
Inconvenientes	· Punta de intensidad muy importante. · Asegurarse que la red admite esta punta. · No permite un arranque lento y progresivo.	· Poco par de arranque. · No hay posibilidad de regulación. · Corte de la alimentación en la conmutación de Y a Δ y fenómenos transitorios. · Conexión final en triángulo para Un.	· No hay posibilidad de regulación. · Motor especial.	· Pequeña reducción de la punta de arranque. · Necesita resistencias.	· Necesita un autotransformador costoso.	· Motor de anillos más costoso. · Necesita resistencias.
Duración del arranque	2 a 3 seg.	3 a 7 seg.	3 a 6 seg.	7 a 12 seg.	7 a 12 seg.	3 tiempos 2,5 seg. 4 a 5 tiempos 5 seg.
Aplicaciones	· Pequeñas máquinas arrancando a plena carga.	· Máquinas arrancando en vacío. · Ventiladores y bombas centrífugas de pequeña potencia.	· Máquinas arrancando en vacío o débil carga. · Usual en compresores para grupos de climatización.	· Máquinas de fuerte inercia sin problemas particulares de par y de intensidad en el arranque.	· Máquinas de gran potencia o de fuerte inercia en los casos donde la reducción de la punta de intensidad es un criterio importante.	Máquinas de arranque en carga, progresivo, etc.

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ARRANQUES



8.3.- ARRANQUE DIRECTO

Consiste en conectar el motor directamente a la red, sin ningún dispositivo de arranque. Con lo cual el motor funciona desde el primer momento de conexión a sus valores nominales.



Para el arranque de máquinas de potencia superior a 0,75 KW se recurre a métodos que reduzcan la intensidad en el momento de arranque, a unos valores que no sean peligrosos para los devanados de la máquina. El método a elegir depende de las características del motor, frecuencia de maniobras, par de arranque necesario, tensión, velocidad, etc.

Los equipos para arranque directo deben estar protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas. La protección de cortocircuitos se suele hacer con fusibles o disyuntores. Para las sobrecargas se utilizan relés térmicos, con los contactos auxiliares formando parte del circuito de mando.

En el instante del arranque del motor, la máquina debe vencer el par resistente que se aplica en su eje, hasta conseguir la velocidad de funcionamiento nominal. Si la carga que le aplicamos es demasiado grande, el motor puede no llegar a arrancar.

Los fabricantes representan esta característica mediante la curva Par-Velocidad.

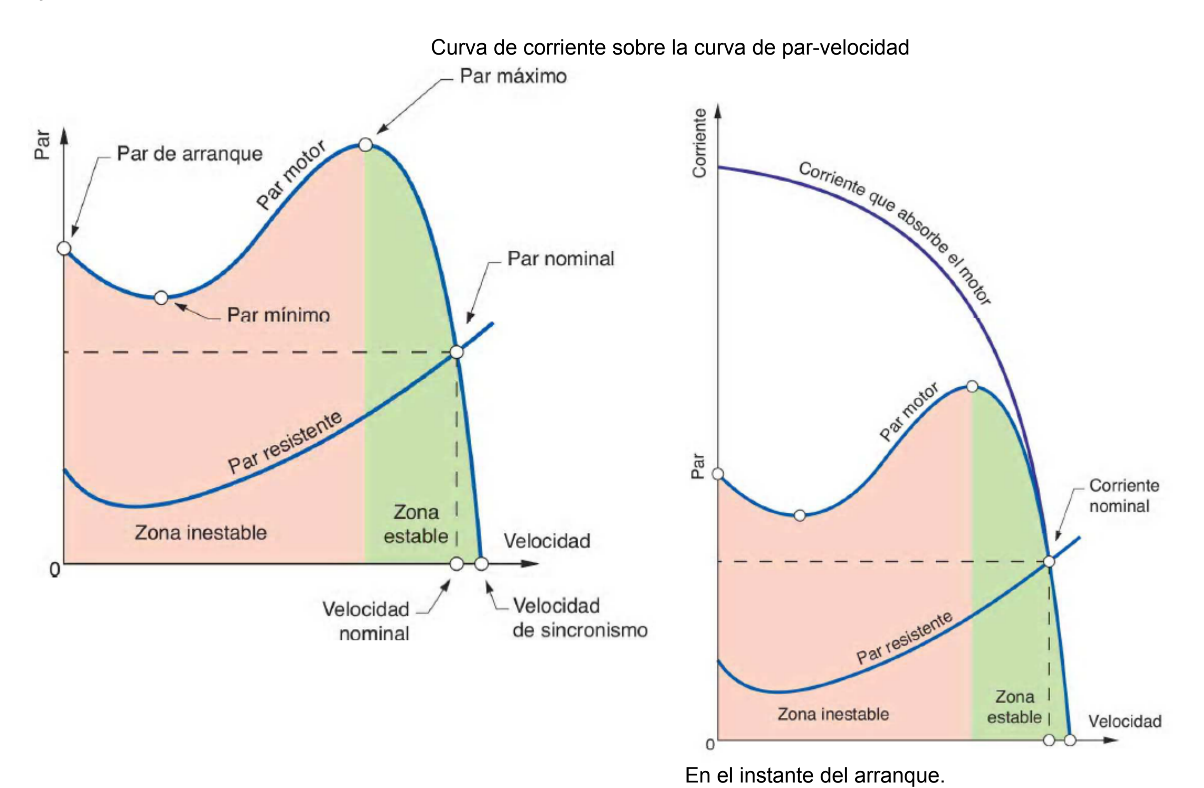
Curva Par-Velocidad.-

Existe una zona inestable, en la que el par motor pasa por diferentes valores. Si en ese instante, el par resistente es demasiado elevado y está por encima de la curva del par motor, la máquina puede arrancar con problemas o incluso no arrancar.

Una vez superada esta zona inestable, el motor consigue su velocidad nominal, funcionando en condiciones normales.

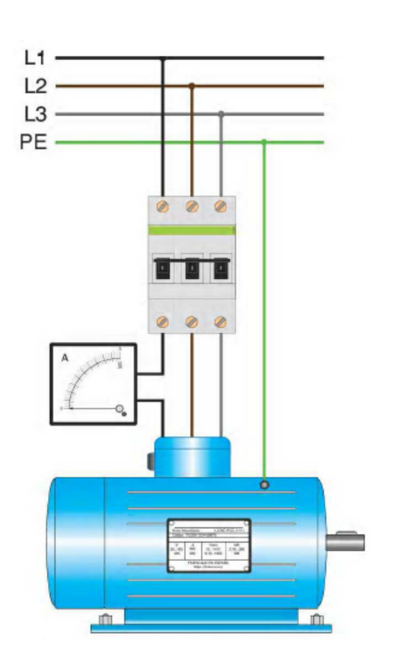
Vencer el par resistente produce una sobrecorriente, perjudicial para la red y aparamenta, por lo que se debe tener en cuenta.

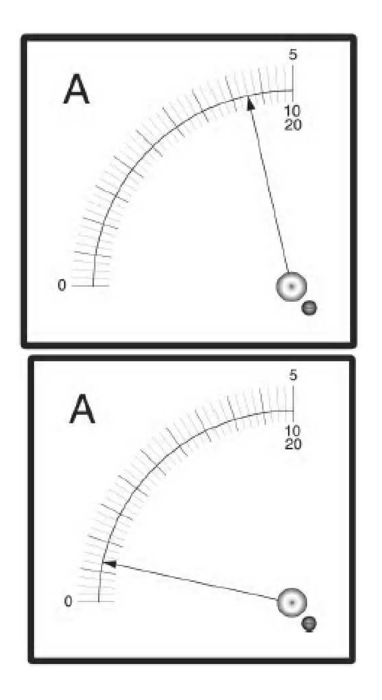
Curva de corriente sobre la curva de par-velocidad

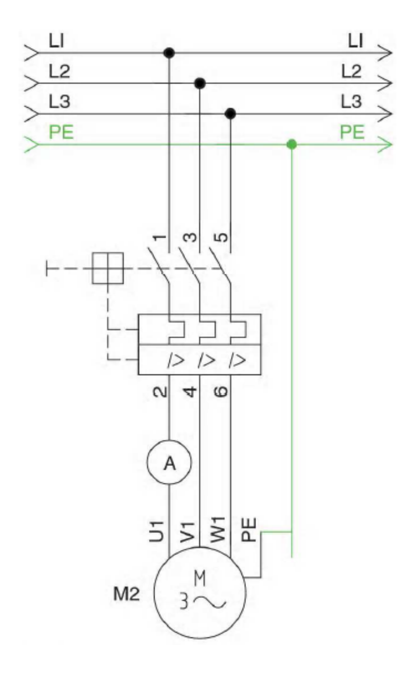


En el instante del arranque.

Para observar la sobrecorriente en el instante del arranque, simplemente debes insertar un amperímetro (de fondo de escala adecuado), en serie en una de las fases de alimentación.

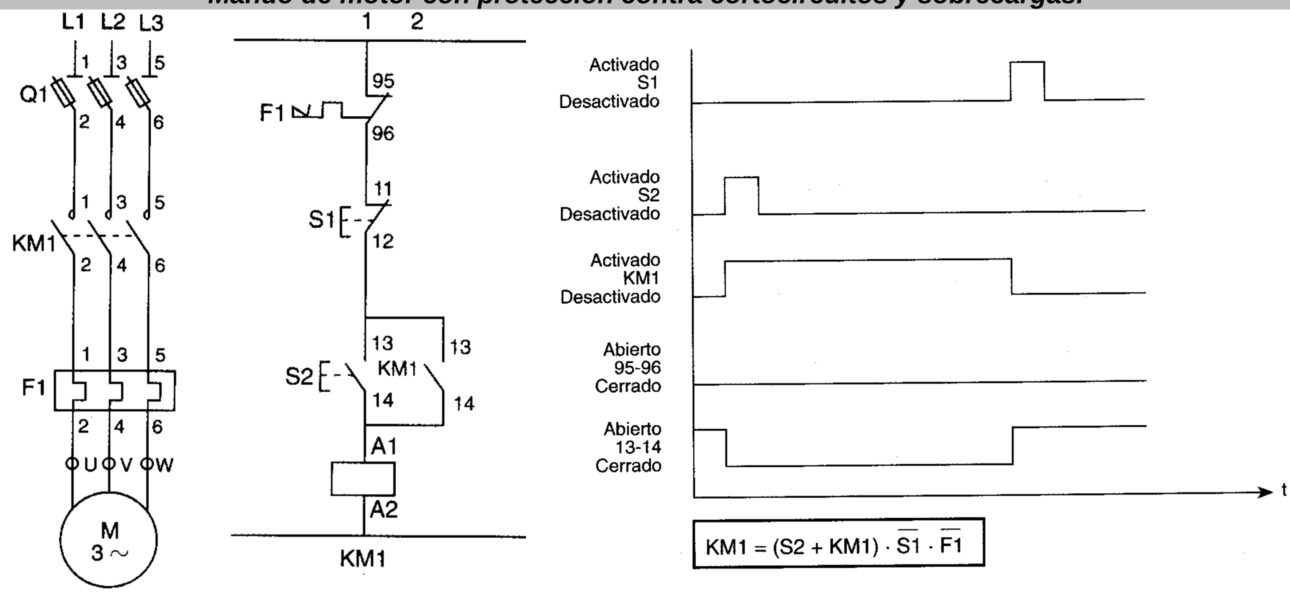








Mando de motor con protección contra cortocircuitos y sobrecargas.



- **Q_1** Seccionador portafusibles de la **I** $_{nominal}$ del motor.
- **KM1** calibre **I** $_{nominal}$ del motor.
- **F1** calibre **I** $_{nominal}$ del motor y categoría de empleo

Circuito de potencia

El circuito de potencia de la figura está protegido contra cortocircuitos por el seccionador portafusibles Q1. El relé térmico tripolar F1 protege contra sobrecargas débiles prolongadas y falta de fase.

Circuito de mando.

En el circuito de mando está intercalado en serie el contacto 95-96 del relé térmico que abre el circuito en caso de sobrecarga prolongada. El funcionamiento del circuito de mando es el siguiente:

- Si el circuito no sufre sobrecarga, al pulsar S2 se activa la bobina de KM1 y cierra sus contactos principales alimentando el motor. La bobina queda autoalimentada por el contacto auxiliar NA de KM1, la parada del motor se produce al activar el pulsador de paro S1.
- Si hay una sobrecarga, el relé térmico abre el contacto 95-96 cortando la alimentación a la bobina de KM1 y los contactos se abren, produciendo la parada del motor.

Cronograma

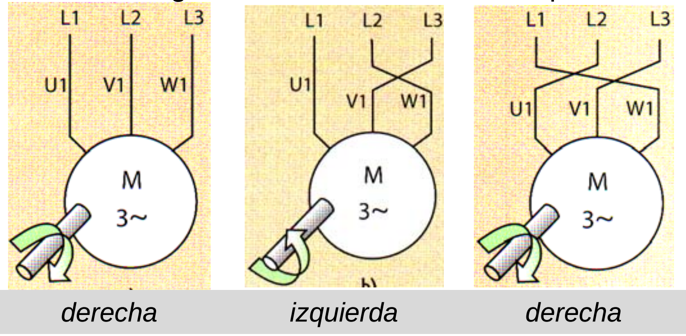
Representación de la secuencia del automatismo en función del tiempo.

En el diagrama de la figura se observa el funcionamiento del motor desde dos pulsadores. En condiciones normales de funcionamiento, el contacto cerrado 95-96 del relé térmico no se abre.

Si en el espacio de tiempo representado se hubiera producido una sobrecarga, el contacto 95-96 se abriría y la bobina del contactor KM1 se desactivaría provocando la parada del motor.

INVERSOR DE GIRO PARA MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO CON PROTECCIONES.

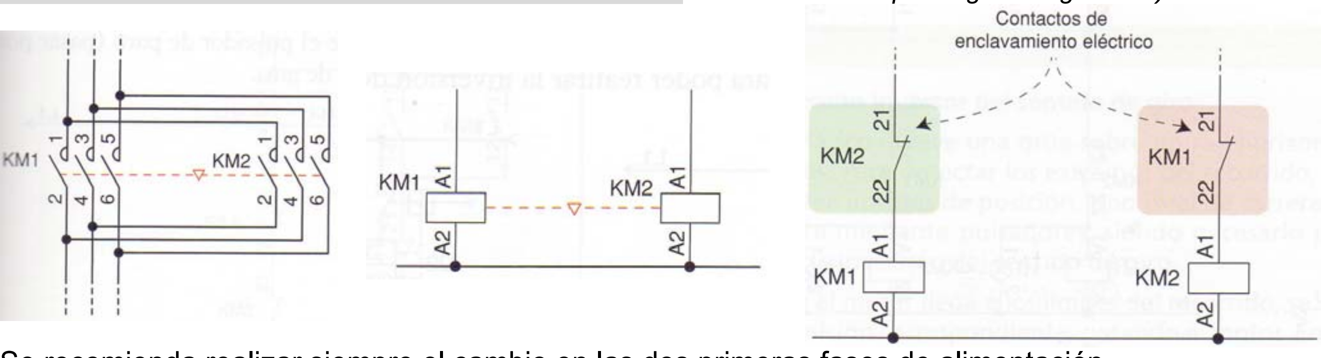
Son muchas las ocasiones en las que, en un proceso, se necesitan motores que puedan girar en ambos sentidos. Un motor muy utilizado es el motor asíncrono con rotor en cortocircuito. La inversión de giro se utiliza con frecuencia para mover grúas, montacargas, ascensores, etc.



derecha *izquierda* *derecha*

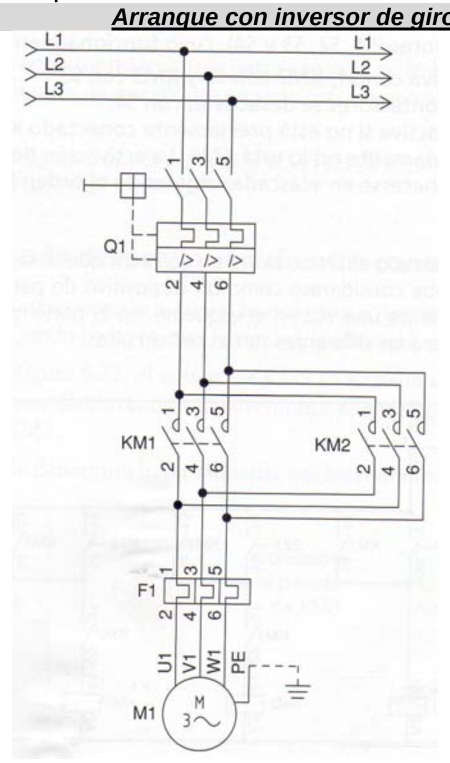
Para invertir el sentido de giro de un motor asíncrono, basta con cambiar el sentido de giro del campo establecido, permutando dos fases de la alimentación del motor. El rotor es arrastrado en sentido de giro contrario al que giraba antes de la permuta de fases.

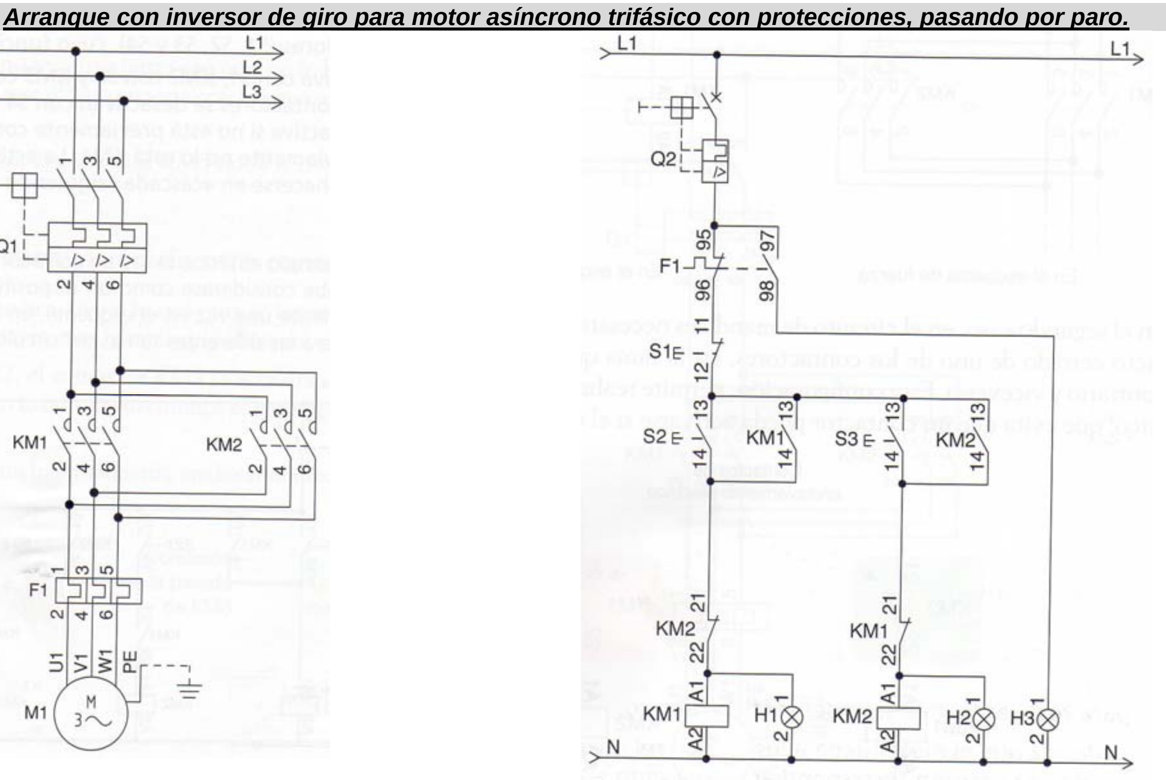
(de esta forma se cambia el sentido del campo magnético giratorio).



Se recomienda realizar siempre el cambio en las dos primeras fases de alimentación.
Los contactores de mando deben estar enclavados mecánicamente y eléctricamente, para impedir que puedan funcionar los dos al mismo tiempo. Si lo hacen se produce un cortocircuito en el esquema de fuerza.

Arranque con inversor de giro para motor asíncrono trifásico con protecciones, pasando por paro.





- **Q_1** Seccionador portafusibles de $I_{nominal}$ del motor.
- **KM1–KM2** calibre $I_{nominal}$ del motor y categoría de empleo.
- **F1** calibre $I_{nominal}$ del motor.

$KM1 = \overline{KM2} \cdot (S2 + KM1) \cdot \overline{S1} \cdot \overline{F2} \cdot Q1$

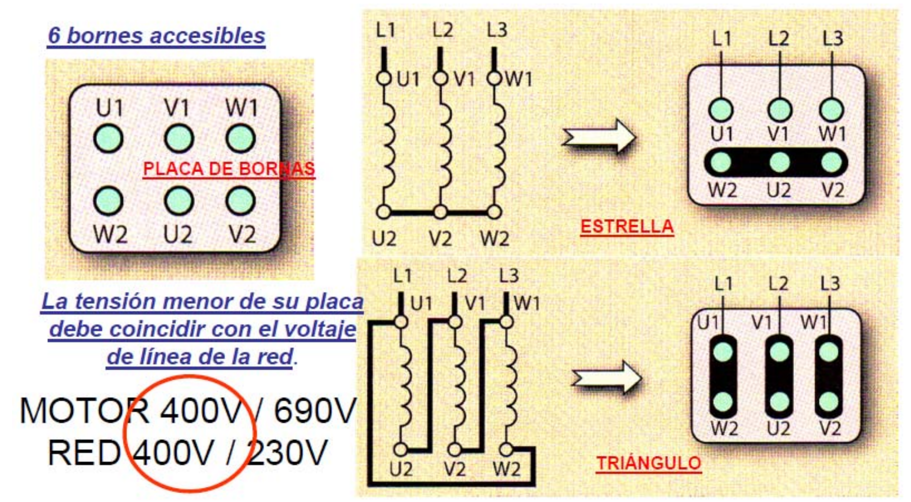
$KM2 = \overline{KM1} \cdot (S3 + KM2) \cdot \overline{S1} \cdot \overline{F2} \cdot Q1$

$H1 = F2 \cdot Q1$

8.4.- ARRANQUE ESTRELLA - TRIÁNGULO.

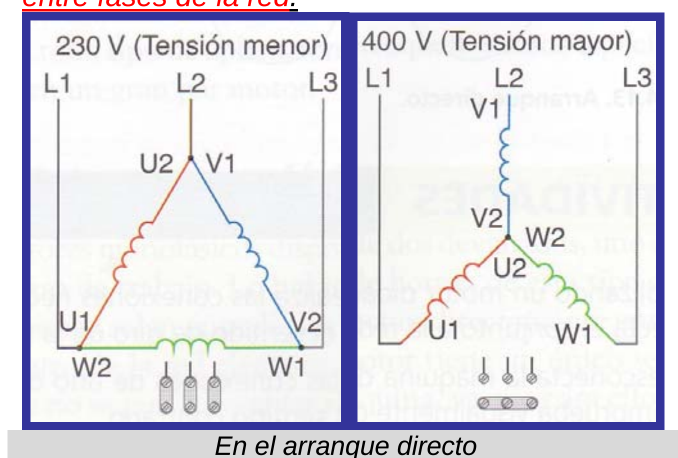
Consiste en arrancar el motor en la conexión estrella durante el arranque y pasar a conexión triángulo para la marcha normal.

Deben de disponer de 6 bornes accesibles, correspondientes al principio y al final de cada bobinado.



Recordemos que en el arranque directo podíamos conectar el motor a dos tensiones distintas, utilizando la estrella para la tensión mayor y el triángulo para la tensión menor indicada en la placa.

En este caso tenemos que tener en cuenta que el motor tiene que funcionar en triángulo en funcionamiento normal, y si le aplicamos un voltaje superior a la tensión menor de la placa, este se quema. Por lo tanto la tensión menor de su placa de características debe coincidir con el voltaje entre fases de la red.



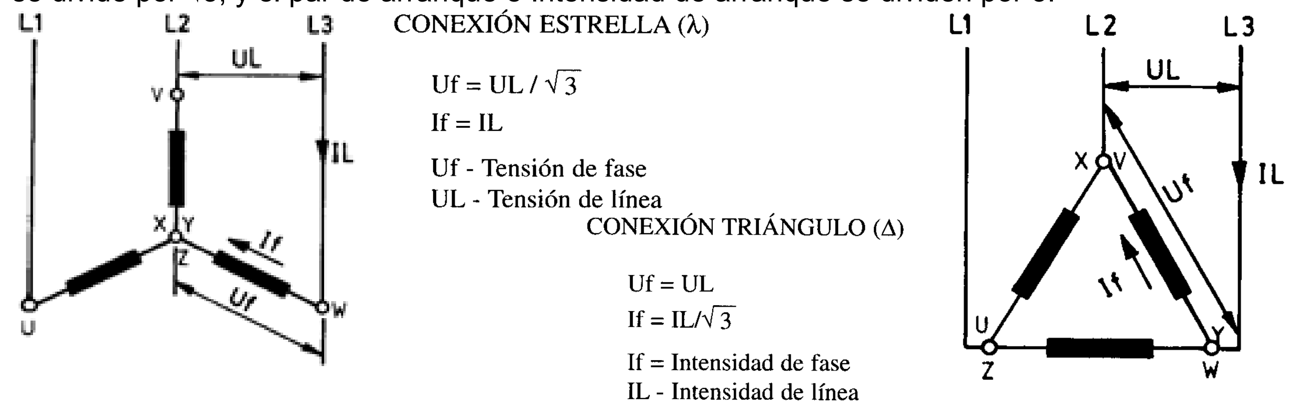
En el arranque directo

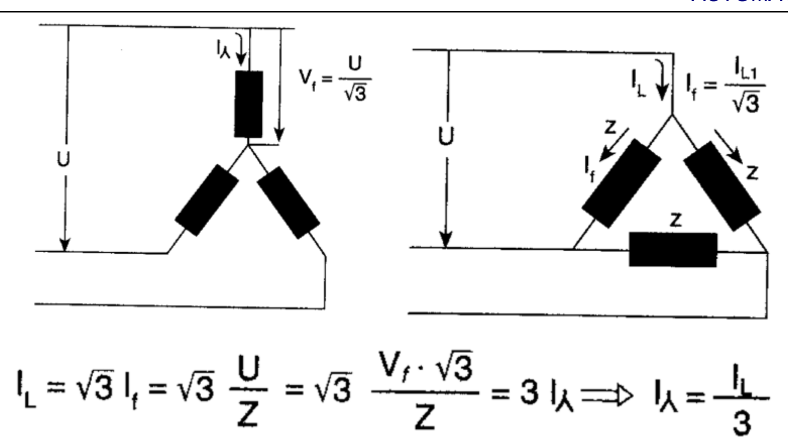
Por lo tanto se podrá realizar el arranque estrella-triángulo en motores:

- **Red U=127/230V**
- **Motor U=230/400V**

- **Red U=230/400V**
- **Motor U=400/690V**

Se utiliza en motores con una potencia elevada, de esta forma la tensión de fase en el arranque se divide por √3, y el par de arranque e Intensidad de arranque se dividen por 3.

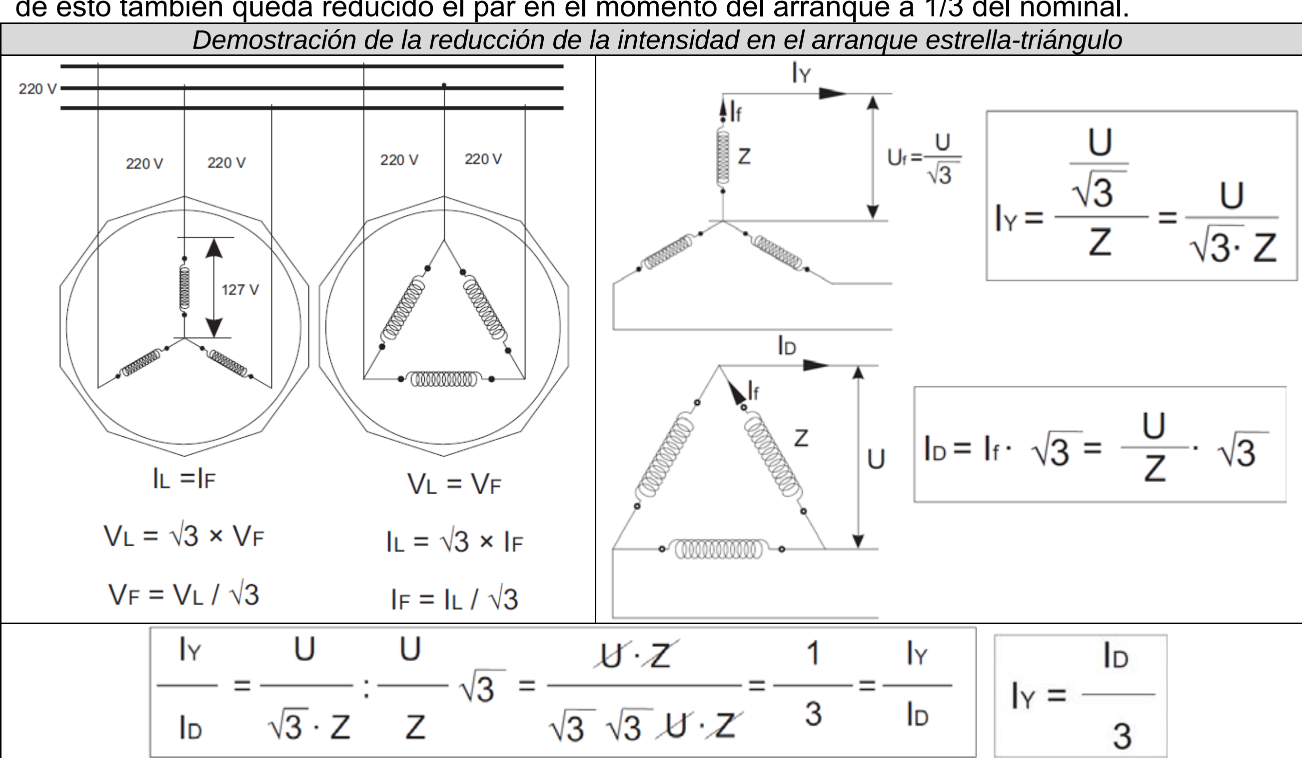




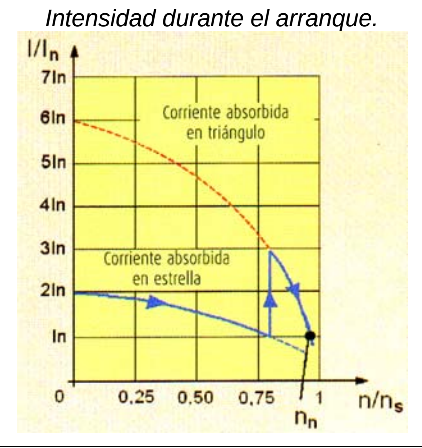
Cada fase queda sometida a una tensión √3 veces menor que si estuviera en triángulo y en consecuencia, la corriente también es √3 veces menor que la que circularía si estuviera conectado en triángulo.

Además en un sistema trifásico conectado en triángulo la corriente en la línea es √3 veces mayor que la de la fase, y en estrella son iguales las corrientes de línea y fase, conseguimos que con este arranque la corriente absorbida de la línea es √3 * √3 = 3 veces menor. Y como consecuencia de esto también queda reducido el par en el momento del arranque a 1/3 del nominal.

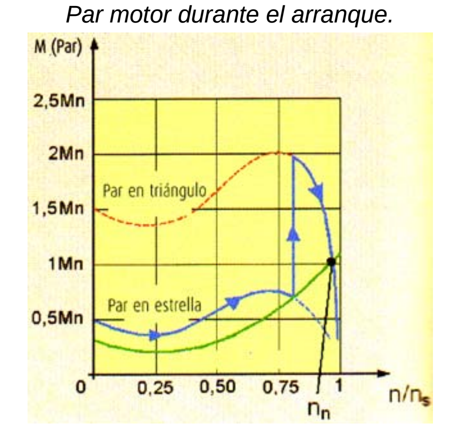
Demostración de la reducción de la intensidad en el arranque estrella-triángulo



Intensidad durante el arranque.



Par motor durante el arranque.



Esquema de fuerza y mando de un arranque estrella – triángulo accionado manualmente mediante pulsadores.

Algunos fabricantes disponen de conjuntos completamente montados con enclavamiento mecánico entre ambos contactores.

En ningún caso deben activarse a la vez los contactores de estrella y de triángulo, ya que se produciría un cortocircuito.

Esquema de mando para arranque estrella-triángulo mediante temporizador

Arranque estrella-triángulo con inversión del sentido de giro (pasando por paro).

SENTIDO DE GIRO DERECHA

KM1 + KM3
CONEXIÓN ESTRELLA

KM1 + KM2
CONEXIÓN TRIÁNGULO

SENTIDO DE GIRO IZQUIERDA

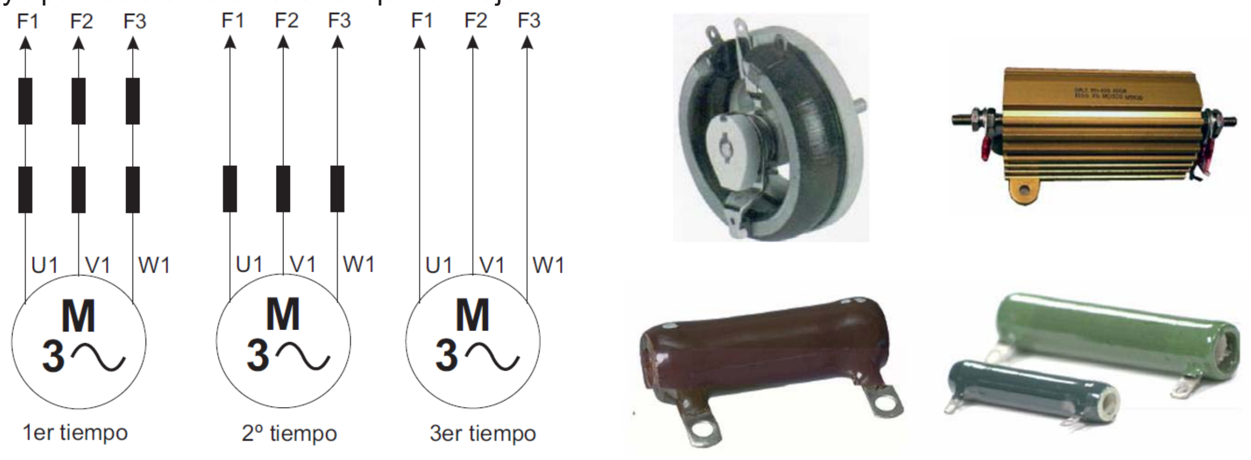
KM4 + KM3
CONEXIÓN ESTRELLA

KM4 + KM2
CONEXIÓN TRIÁNGULO

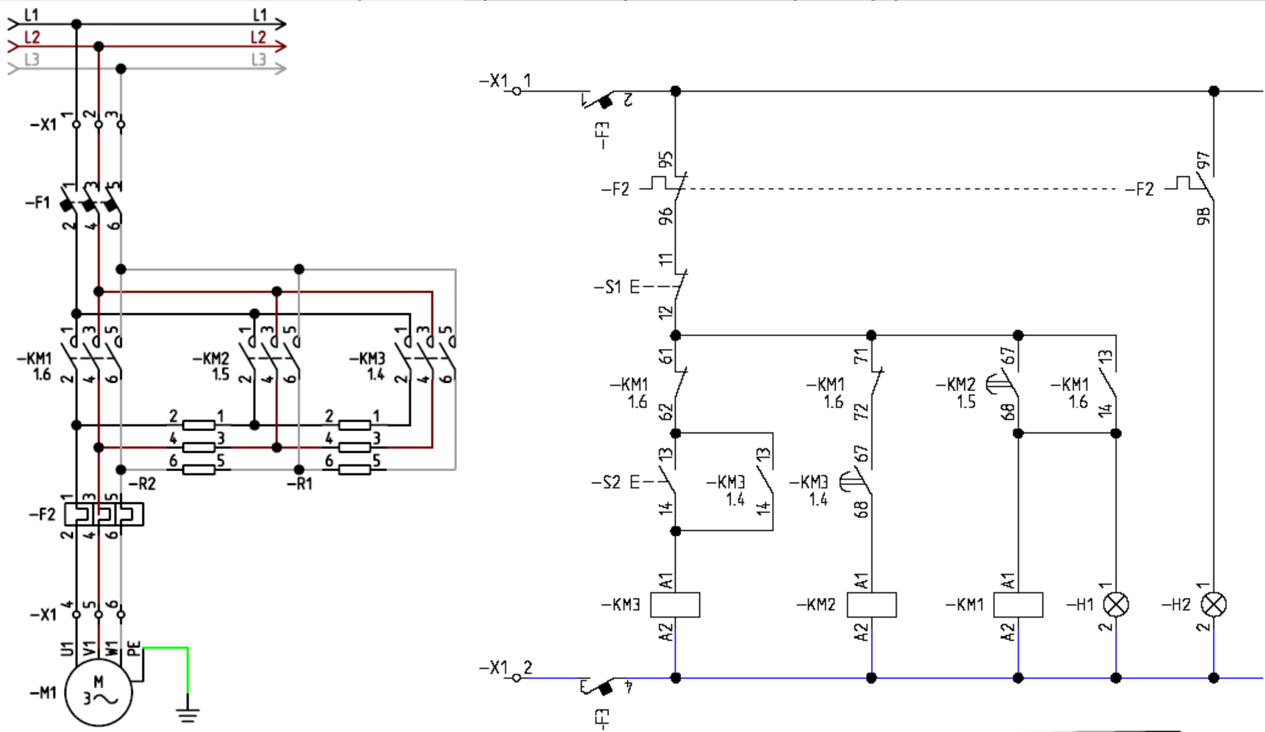
RETIRAR LOS PUENTES
DE LA PLACA.

8.5.- ARRANQUE POR RESISTENCIAS ESTATÓRICAS.

Consiste en arrancar el motor a través de resistencias, con lo que la tensión de alimentación disminuye y, como consecuencia, también disminuye la intensidad de arranque. A medida que el motor se estabiliza se va eliminando resistencia. Se utiliza en motores de mediana y gran potencia cuyo par resistente en el arranque es bajo.



Arranque mediante resistencias estatóricas (Dos escalones).
(Temporizadores neumáticos sobre contactores).
(Para máquinas con par de arranque bajo).



F1: Interruptor magnetotérmico de I $_{nominal}$ del motor.
KM1: calibre I $_{nominal}$ del motor y empleo.
KM2 – KM3: calibre I $_{nominal}$ del motor / 2 y empleo
F2: calibre I $_{nominal}$ del motor.

$KM3 = (S2 + KM3) \cdot \overline{KM1} \cdot \overline{S1} \cdot \overline{F2}$

$KM2 = KM3 \cdot \overline{KM1} \cdot \overline{S1} \cdot \overline{F2}$

$KM1 = KM2 \cdot \overline{S1} \cdot \overline{F2}$

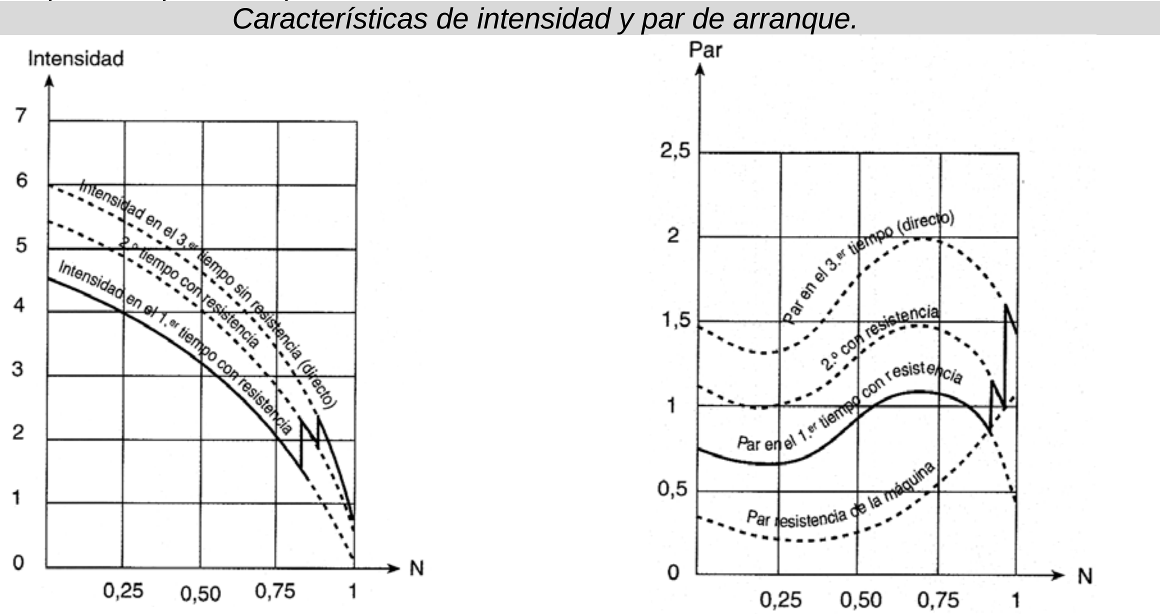
Esquema de potencia: Consta de dos tramos de resistencias. Los contactores KM3 y KM2 tienen incorporados bloques de contactos temporizados al trabajo: Al cerrarse KM3, el motor se alimenta a través de los dos tramos de resistencias R1 y R2. Al pasar el tiempo seleccionado en los contactos temporizados 67-68 de KM3, se cierra KM2 y el motor queda alimentado a través de un tramo de resistencias.

Transcurrido el tiempo seleccionado en el contacto temporizado 67-68 de KM2, se cierra KM1 y se alimenta directamente de la red. El motor está protegido contra cortocircuitos por los fusibles F1 y contra sobrecargas por el relé térmico F2.

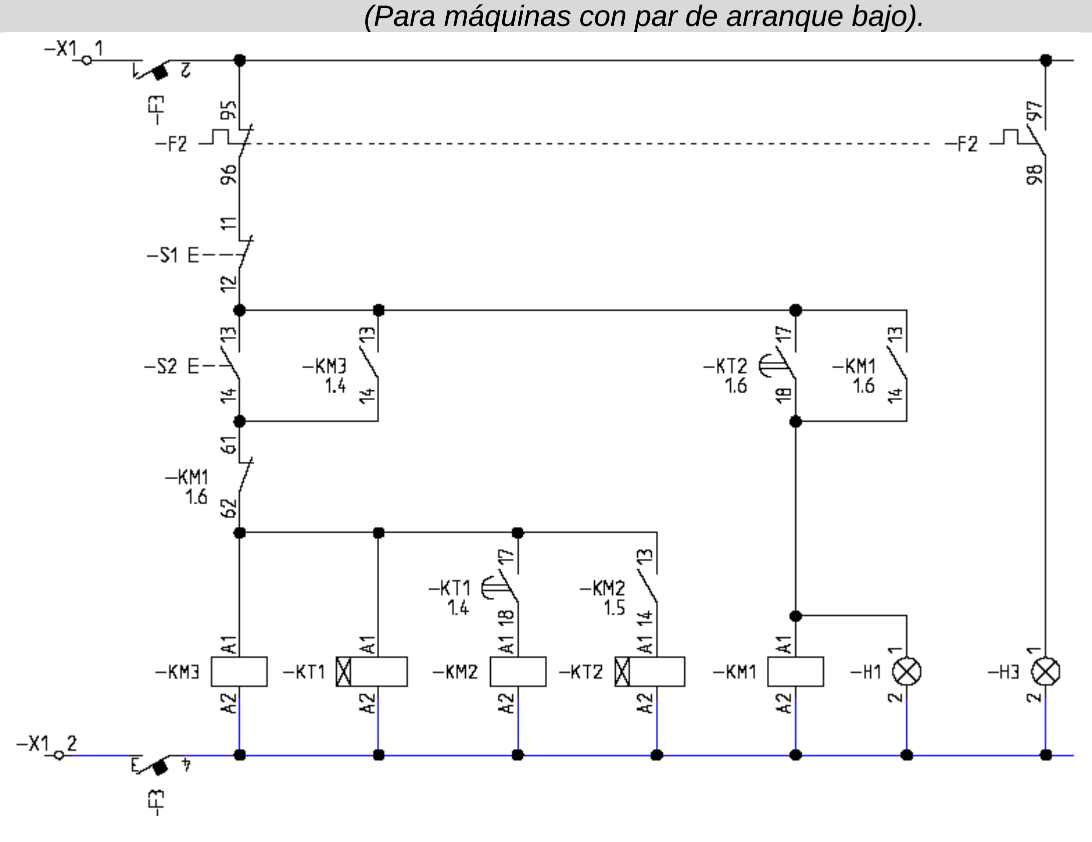
Esquema de mando: Un impulso sobre S2 cierra KM3 y se auto alimenta por 13-14 de KM3. Cuando pasa el tiempo del contacto temporizado al trabajo de KM3, se cierra 67-68 y se produce el cierre de KM2. Pasado el tiempo seleccionado en su contacto temporizado, se cierra 67-68 de KM2 y se activa KM1 por medio de sus contactos cerrados 61-62 y 71-72; se desactivan las bobinas de KM3 y KM2 y el motor se alimenta directamente sin ninguna resistencia interpuesta en la alimentación.

El paro se produce por un impulso sobre S1.

Características de intensidad y par de arranque.



Arranque mediante resistencias estatóricas (Dos escalones).
(Temporizadores electrónicos).
(Para máquinas con par de arranque bajo).



Arranque mediante resistencias estatóricas (Un escalón).
(Temporizadores electrónicos).
(Para máquinas con par de arranque bajo).

El bloque de resistencias está limitado en número de arranques / hora, para evitar que pueda quemarse por un calentamiento excesivo, debiéndose colocar en lugar de fácil refrigeración, y ser adecuado a la $I_{nominal}$ del motor y al número de arranques / hora.

<u>VALOR DE LA RESISTENCIA (R)</u>

$R = 0{,}055 \cdot U / I_{NOMINAL}$

<u>LA INTENSIDAD MEDIA</u>

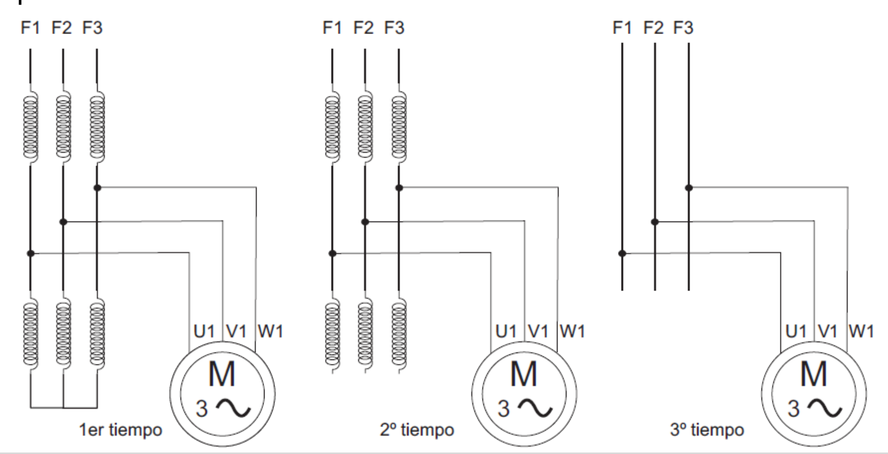
$I_{media} = 4{,}05 \cdot I_{NOMINAL}$

Número de puntos de arranque	2	3	4	
Tensión en bornes del motor en el primer punto	58 %	52 %	47 %	De la tensión de línea.
Corriente de arranque en el primer punto	58 %	52 %	47 %	De la corriente en arranque directo.
Par de arranque en el primer punto	33 %	27 %	22,5 %	Del par de arranque directo.

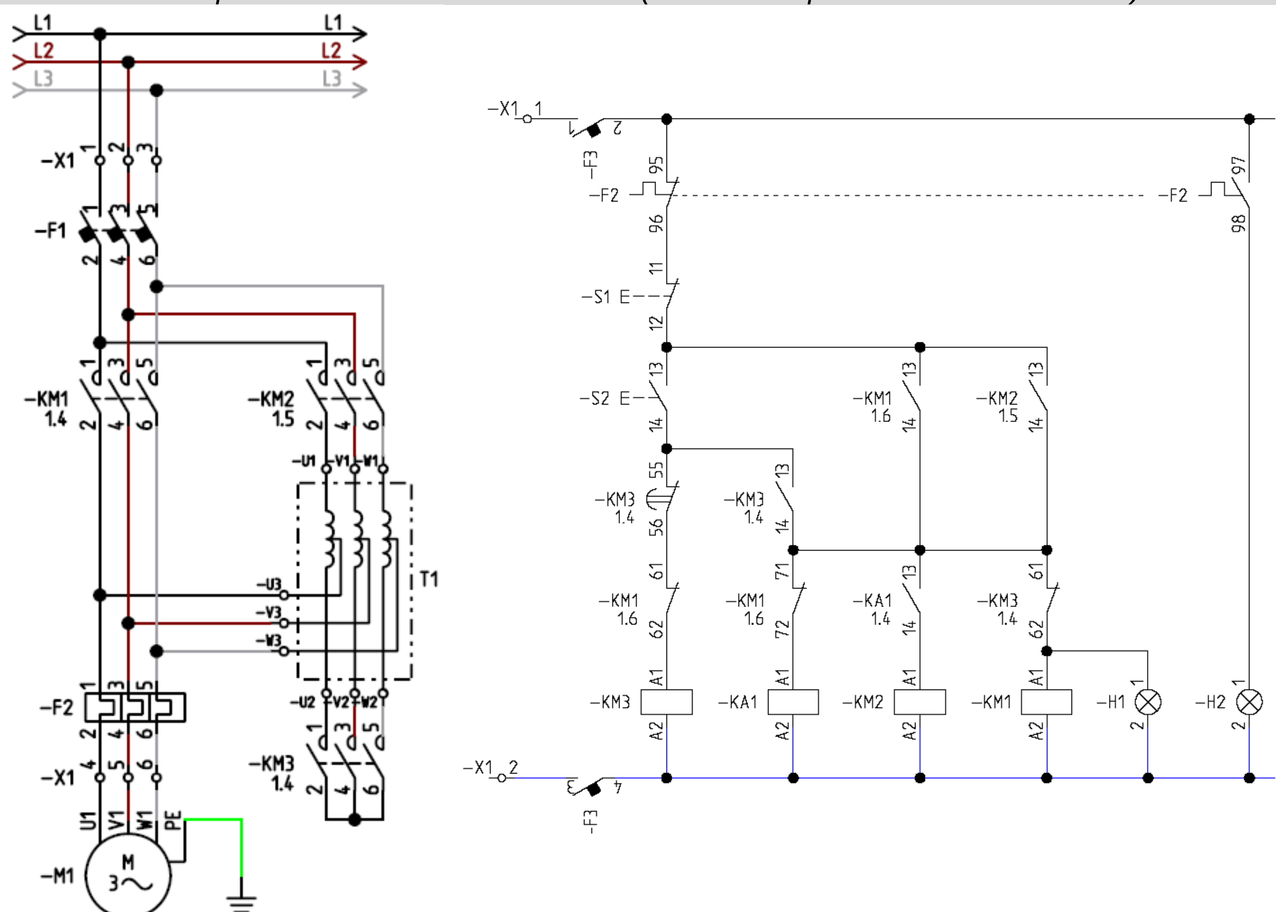
Al hacer el pedido de las resistencias debe indicarse el tiempo de puesta en tensión de la resistencia y el número de arranques por hora. (Si no hay indicación expresa, se consideran 10 arranques / hora de 15 segundos cada uno con 2 consecutivos a partir del estado frío).

8.6.- ARRANQUE MEDIANTE AUTOTRANSFORMADOR.

Está basado en la reducción de la tensión de alimentación, de forma que en el momento del arranque se toma una tensión que esté entre el 50% y 80% del total, y una vez que el motor adquiere velocidad se aumenta hasta la tensión nominal. Este método reduce el par como consecuencia de la disminución de la corriente de arranque y ofrece la posibilidad de elegir los puntos de arranque.



Arranque mediante autotransformador (cabezal temporizado sobre contactor)



Esquema de fuerza.

Cuando cierra el interruptor magnetotérmico F1 el circuito está listo para funcionar.

El cierre KM1 pone en estrella el autotransformador, seguidamente se ponen en funcionamiento el contactor KM2 que alimenta el motor y el contactor auxiliar KA1 que dispone de un contacto temporizado. Cuando pasa el período de temporización del contacto 53-56 de KA1, se abre KM1 y se conecta KM3 alimentando el motor directamente, al mismo tiempo se desconectan KA1 y KM2.

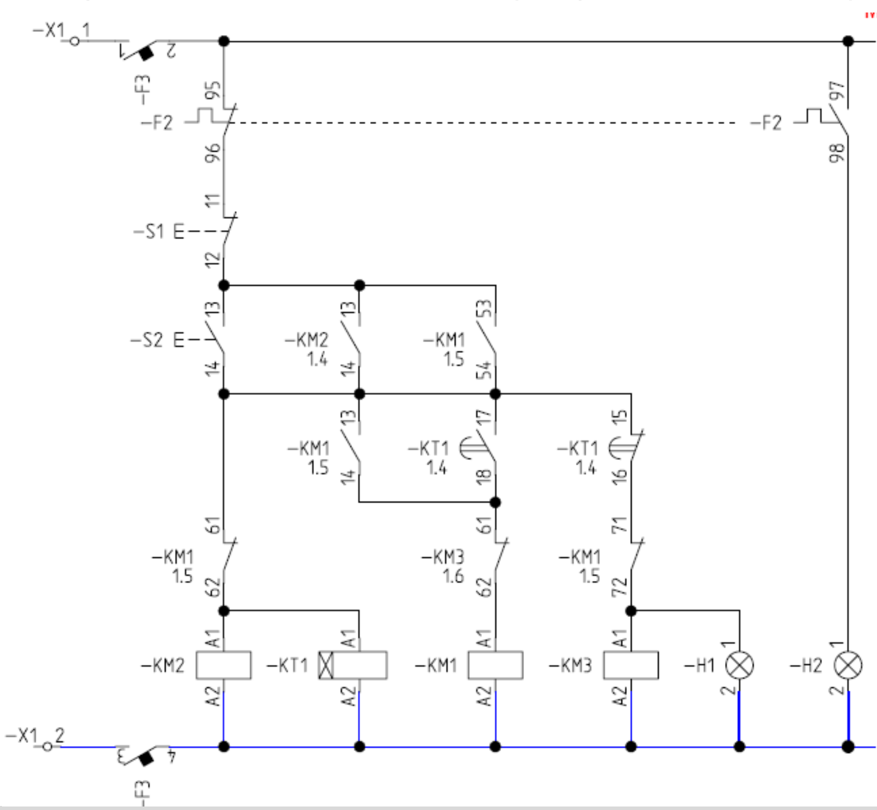
Esquema de mando.

Al hacer un impulso sobre S2 se cierra KM1, enclavamiento de KM3 por KM1. Cierre de KA1 por KM1 (13-14), cierre de KM2 por KA1 (13-14) y autoalimentación de KM2 por (13-14).

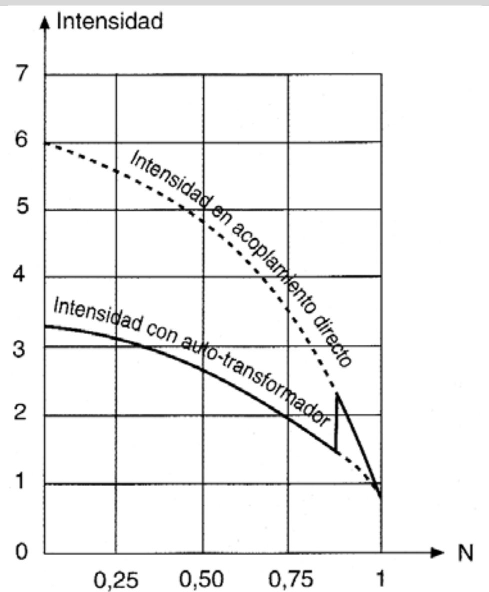
Pasado el tiempo seleccionado en el contacto temporizado (55-56) de KA1, apertura de KM1 por (55-56) de KA1 y cierre de KM3 por KM1 (21-22). Enclavamiento de KM1 por (21-22) de KM3, autoalimentación de KM3 por (13-14). Apertura de KA1 por (31-32) de KM3 y de KM2 por (13-14) de KA1.

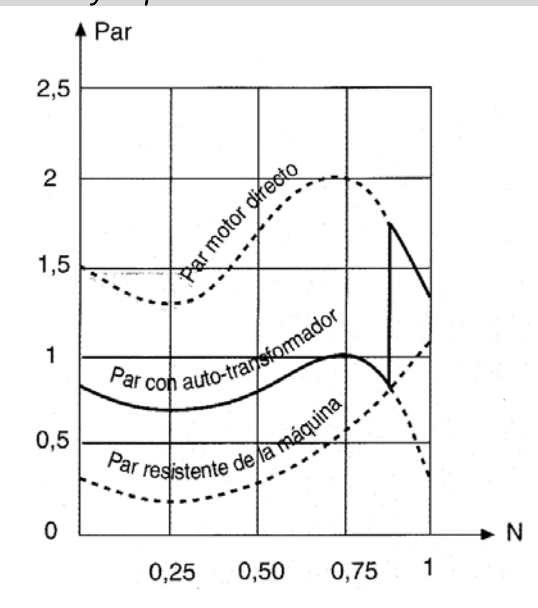
Parada por impulso sobre S1 o por apertura de (95-96) de F2 por una sobrecarga o falta de fase.

Arranque mediante autotransformador (Temporizador electrónico)



Curvas características de la intensidad y el par del motor.





Elección del autotransformador.

El autotransformador se elegirá en función de la potencia del motor y la carga a mover en el arranque (par de arranque), suelen estar equipados con tomas para 55, 65 y 80% de la tensión de la línea (U_L).

VALORES DE CÁLCULO

$$U\ motor = k\ U\ línea$$
$$C\ motor = k^2\ C$$
$$I\ línea \neq k^2\ I$$
$$I\ motor = k\ I$$

con k : relación del autotransformador U salida / U línea
C : par en arranque directo
I : corriente en arranque directo

Al hacer el pedido de un autotransformador debe indicarse:

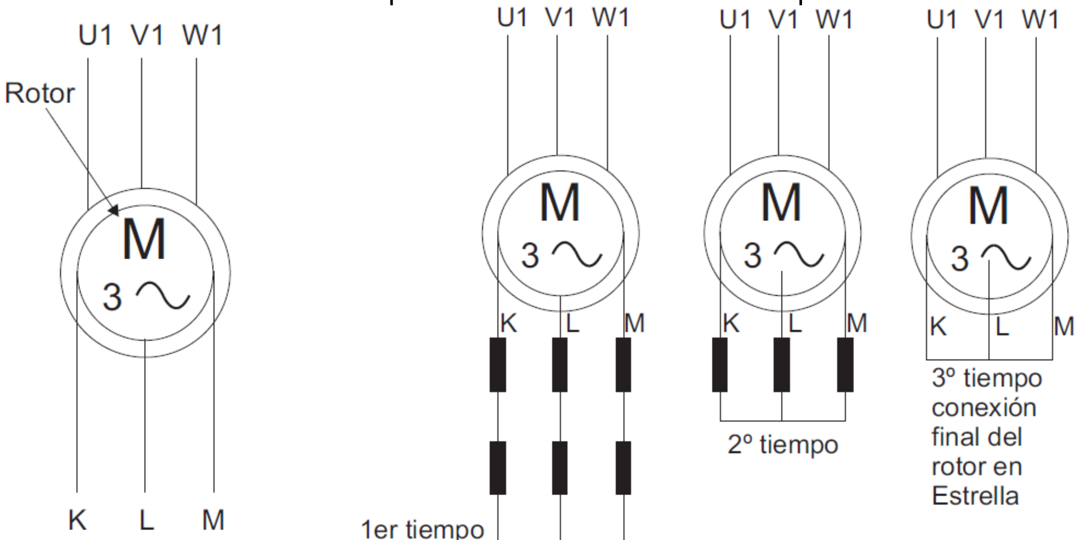
- Punta de intensidad del motor en arranque directo (suministrado por el fabricante).
- El valor de la tensión de salida con relación a la tensión de la red, en tanto por ciento.
- El tiempo de puesta en tensión de autotransformador y el número de arranques por hora
- Si no hay indicación expresa, solemos prever tomas de 0.55 U_n, 0.65 U_n y se consideran 5 arranques de 8 segundos por hora.
- La relación entre intensidades sería Intensidad en arranque directo / $I_{nominal}$ = 6

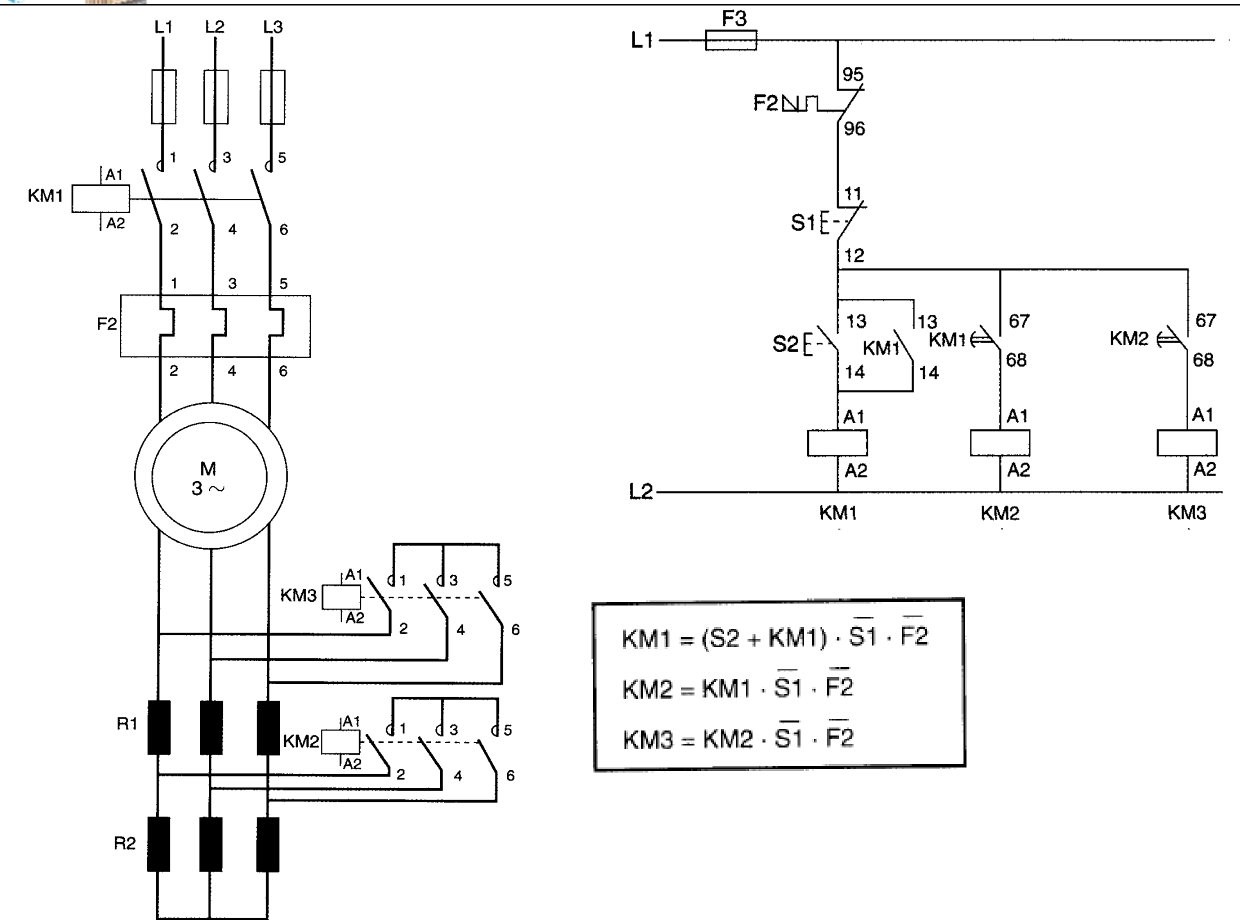
$$\frac{Id}{In} = 6.$$

Número de puntos de arranque	2	3	
Tensión en bornes del motor en el primer punto	65 %	55 %	De la tensión de línea (U_L).
Corriente de arranque en el primer punto	42 %	30 %	De la corriente en arranque directo (I_{ad}).
Par de arranque en el primer punto	42 %	30 %	Del par de arranque directo (M_{ad}).

8.7.- ARRANQUE MEDIANTE RESISTENCIAS ROTÓRICAS.

El arranque por eliminación de resistencias rotóricas se utiliza para la puesta en marcha de motores trifásicos asíncronos con rotor bobinado. En este tipo de motor la resistencia del rotor afecta a sus características, la intensidad de arranque, el par de arranque y la velocidad. Por lo que colocando resistencias externas podemos actuar sobre el arranque.





Esquema de potencia: La protección contra cortocircuitos se hace con los fusibles F1 y contra sobrecargas con el relé térmico F2.

Al cerrar KM1 El motor se alimenta y en el rotor están conectados los dos tramos de resistencias R2.

Al cerrar KM3 se eliminan las resistencias R2.

Al cerrar KM2 el rotor queda en cortocircuito en funcionamiento normal.

***Esquema de mando*:** Un impulso sobre KM1 y se auto alimenta por 13 – 14 de KM1.
Pasado el tiempo seleccionado en el contacto temporizado, 67 – 68 de KM1 se cierra y se conecta KM2, quedando desconectado el primer tramo de resistencias R2.
Una vez pasado el tiempo seleccionado en 67 – 68 de KM2, éste se cierra y se conecta KM3 dejando fuera de servicio todas las resistencias.
Un impulso sobre S1 produce la parada del motor.

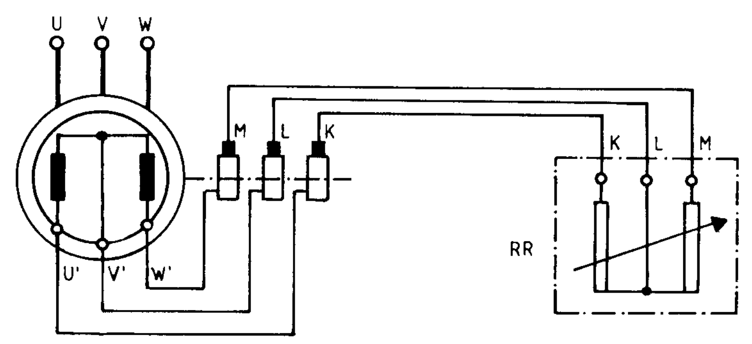
Para evitar calentamiento excesivo de las resistencias, se limitarán a 6 arranques por hora un arranque cada 10 minutos. (Alcanzan una temperatura entorno a 200 ºC)

Resistencia unidad. Es el valor teórico de la resistencia total del circuito rotórico que se obtiene estando el rotor bloqueado, a par nominal.

$R_u = \dfrac{333 \cdot P}{I_r^2}$	R_u = Resistencia en Ω.
	P = Potencia en Kw.
$R_u = \dfrac{245 \cdot P_1}{I_r^2}$	P_1 = Potencia en CV.
	I_r = Intensidad rotórica.

Valor de la resistencia	Valores intermedios de la resistencia	Punta del último tiempo
$R_T = \frac{R_u}{1.^a\ Punta} - r$	$S = \frac{R_p + r}{Punta} - r$	$Punta = \frac{R_d + r}{r}$
Intensidad media I_{med}	R_T = Resistencia total por fase en Ω. r = Resistencia interna del motor. 1.ª Punta = Punta de intensidad deseada al arranque. S = Valor de la resistencia por fase para un tiempo. R_p = Resistencia total (2.° tiempo) o resistencia al tiempo precedente. Punta = Punta de intensidad deseada al tiempo que corresponda. R_d = Resistencia del tiempo precedente.	
$I_{med} = I_r \frac{I_p - I_r}{3}$ I_r = Intensidad rotórica I_p = Punta de intensidad		

Para pedir la resistencia debe indicarse: Tiempo de puesta en tensión, numero de arranques y frenado por contracorriente si se va ha realizar.



RESISTENCIA POR FASE PARA UN REOSTATO, PARA UN DETERMINADO MOTOR (R_f)

$$R_f = \frac{U_2}{1{,}73 \cdot I_2 \cdot k} \cdot \frac{n_o - n_m}{n_o} - 0{,}5 \cdot R_a$$

R_f = Resistencia por fase del reostato, en Ω.

U_2 = Tensión rotórica en reposo.

I_2 = Intensidad rotórica, tomada a par nominal.

} Valores tomados de la placa de características.

n_o = Velocidad del motor (asíncrona), en r.p.m.

n_m = Velocidad mínima exigida, en r.p.m.

R_a = Resistencia óhmica entre dos anillos, en Ω.

k = Relación entre el par necesario a la velocidad mínima exigida y el par nominal del motor.

I_f = Intensidad por fase a velocidad n_m

M = Par a la velocidad n_m, en Kgm.

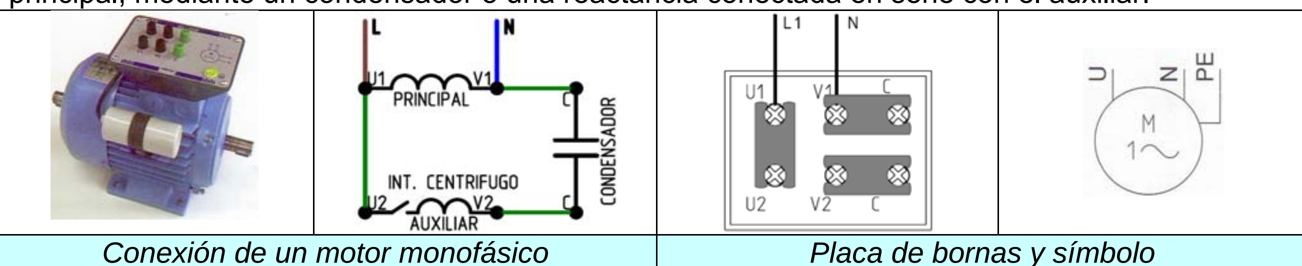
M_n = Par nominal del motor, en Kgm.

$$k = \frac{M}{M_n} \qquad I_f = I_2 \cdot k$$

8.8.- MOTOR MONOFÁSICO.-

Constan esencialmente de dos bobinados, uno el principal o de trabajo, que está en funcionamiento constantemente y otro auxiliar o de arranque, que tan sólo está sometido a tensión durante el periodo de arranque.

El desfase necesario para producir el giro, se consigue desfasando el auxiliar respecto del principal, mediante un condensador o una reactancia conectada en serie con el auxiliar.



Conexión de un motor monofásico	Placa de bornas y símbolo

Existe una gama variada de este tipo de motores aunque los tipos más importantes son:

- ✓ Motores universales con bobinado auxiliar de arranque.
- ✓ Motores con espira en cortocircuito.
- ✓ Motores universales.

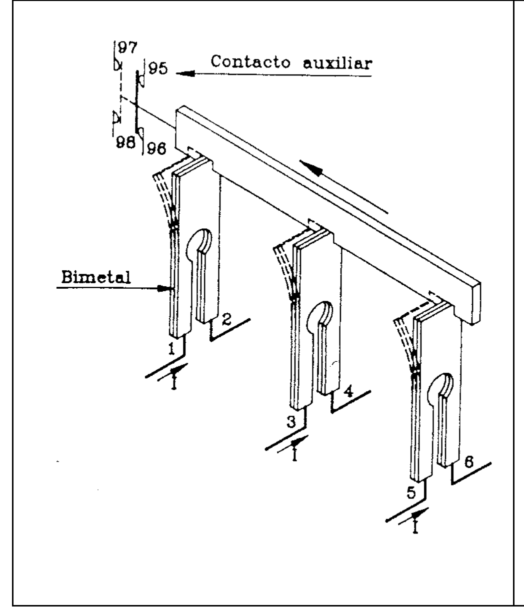


Interruptor centrífugo.

La finalidad del bobinado auxiliar, es crear un campo de reacción (desfase) entre el bobinado principal y dicho bobinado auxiliar, de modo que se ponga en funcionamiento el motor, una vez logrado esto y no ser necesario el bobinado auxiliar, por medio de un interruptor centrífugo se desconecta dicho bobinado, al conseguir la velocidad de funcionamiento.

Pueden disponer de un condensador, lo que hace que la corriente quede más desfasada entre los dos bobinados.

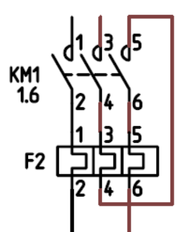
El condensador se conectará en serie con el bobinado auxiliar, por lo que una vez puesto en marcha el motor, también quedará desconectado al hacerlo el bobinado auxiliar.



Recuerda:

El relé térmico es un elemento trifásico y sus láminas de reglaje, se encuentran unidas por el mecanismo de disparo. Por lo cual si por una de ellas, no circula intensidad de corriente, se encontrara a menor temperatura que las otras dos, con lo cual desequilibra el funcionamiento del mecanismo de disparo.

Para evitarlo, se recurre al siguiente montaje en circuitos monofásicos:



INVERSIÓN DEL SENTIDO DE GIRO DE UN MOTOR MONOFÁSICO.-

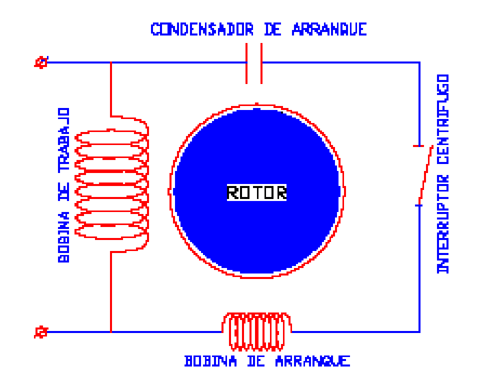
Para invertir el sentido, sólo se invertirá el sentido de la corriente de uno de los devanados; de hacerlo en ambos no se lograría la inversión deseada.

	U1 V1 C U2 V2 C	L N U1 PRINCIPAL V1 C INT. CENTRIFUGO U2 AUXILIAR V2 C	L N U1 PRINCIPAL V1 C CONDENSADOR INT. CENTRIFUGO U2 AUXILIAR V2 C
Placa de bornas del motor monofásico.		*Derecha.*	*Izquierda.*

Problema 8. Condensador motor monofásico.

Calcular el condensador de arranque para un motor monofásico de 2 Kw. 220 V.

$\cos \varphi = 0{,}7$



$$C = \frac{3{,}18 \times 10^6 \times P}{E^2 \times \cos\varphi}$$; siendo

P potencia del motor en Kw

E tensión en voltios

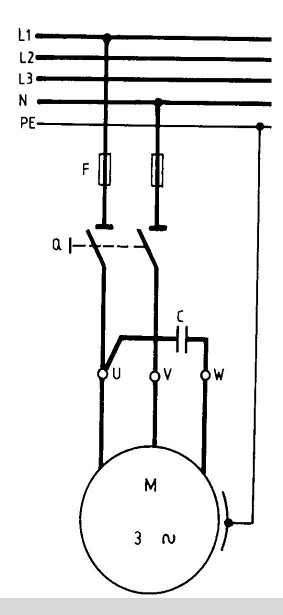
C capacidad en µF

$C = (3{,}18 \times 1000000 \times 2) / (220 \times 220 \times 0{,}7) = 187\ \mu F$

8.9.- FUNCIONAMIENTO MOTOR TRIFÁSICO COMO MOTOR MONOFÁSICO.-

El motor asíncrono trifásico sigue girando cuando le falta una fase, con un ruido característico y un gran aumento de consumo que puede llegar a quemar los devanados debido al calentamiento que se produce en los mismos. Ello es debido a que en campo magnético que se produce en el estator ya no es giratorio.

Si al devanado que le falta la fase lo alimentamos con cualquiea de las otras dos, a través de un condensador de modo que entre ellas exista un desfase de 90º, conseguiremos un campo giratorio elíptico que produce el par suficiente para que el motor gire.



Esta conexión (*conexión Steinmetz*), solo es aconsejable en motores de pequeña potencia <2Kw, la potencia solicitada por la máquina no supere el 70% o 80% de la potencia del motor y el par de arranque solicitado <40% del par nominal del motor.

El condensador a instalar debe ser de una tensión 1,15 veces la tensión de la red monofásica (minimo 250V), y el valor de su capacidad es:

$$C = 36 . P . \left(\frac{220}{U}\right)^2 . \frac{50}{f}$$

C = Capacidad del condensador en µF.
P = Potencia del motor trifásico en Kw.
U = Tensión de la red monofásica en voltios.
F = Frecuencia de la red en hercios

Otro metodo de cálculo para el condensador

$$C = \frac{I}{\omega \cdot U} = \frac{I}{2 \cdot 3{,}14 \cdot F \cdot U} =$$

Tabla para cálculo directo, de un catálogo comercial.

Tensión red	230 V	400 V
Capacidad en µF por cada Kw	70	20

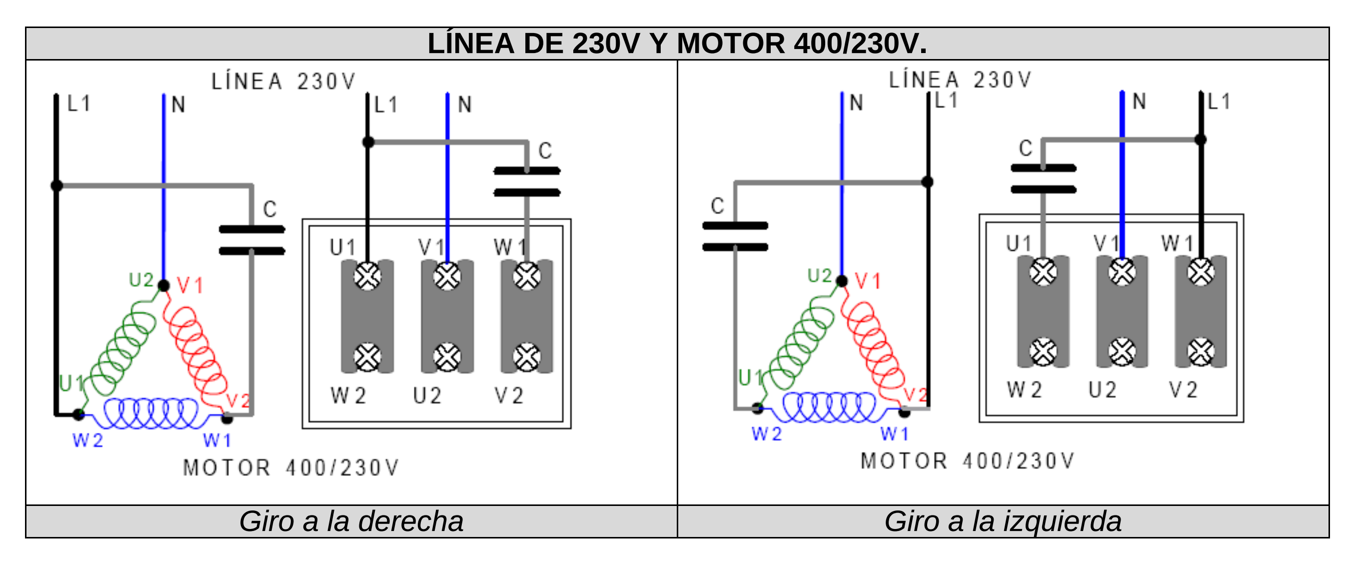
Una vez hallado el resultado se escoge el valor comercial inmediato superior de condensador que existe en el mercado, estos son en µF:

Relación de gamas de capacidades en microfaradios de condensadores comerciales monofásicos:
4 – 4,5 – 6 – 7 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 – 18 – 20 – 25
28 – 30 – 32 – 35 – 40 – 45 – 50 – 60 – 65 – 100

Tabla de cálculo directo del condensador.			
Potencia en CV	Valores aproximados de la capacidad en microfaradios		
	400 V	230 V	125 V
0,2	4	10	30
0,4	8	20	60
0,6	12	30	90
0,8	16	40	120
1	20	50	-
1,2	24	60	-
1,4	28	70	-
1,6	32	80	-
1,8	36	90	-
2	40	100	-

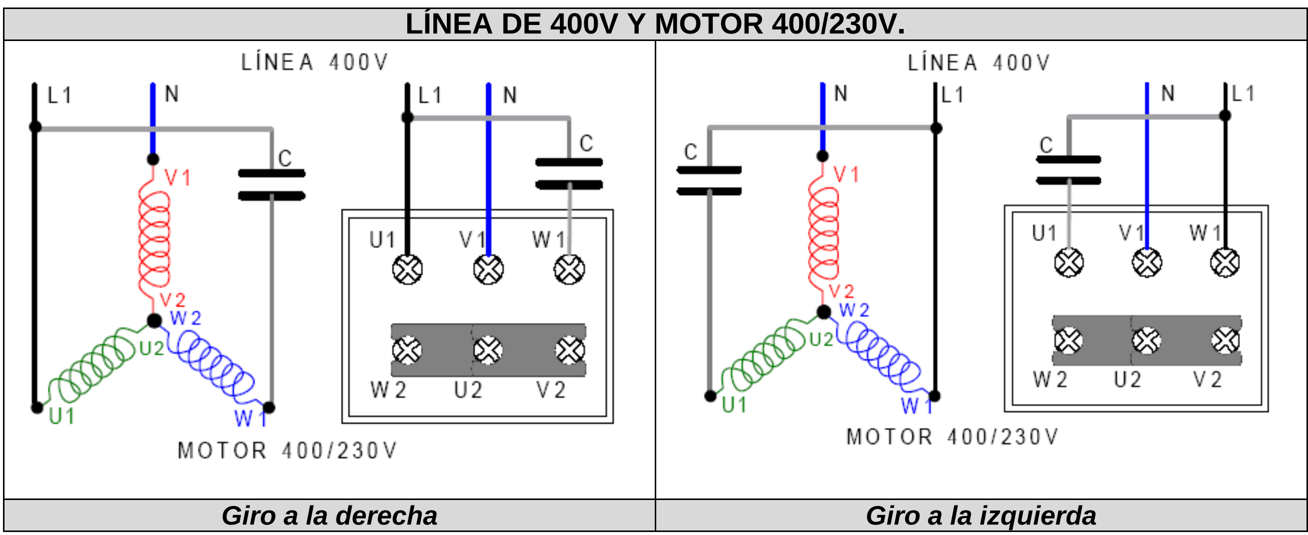
Se debe tener especial cuidado en la conexión del motor trifásico es distinta según se trate de montaje en líneas de 230V ó de 400V y la tensión indicada en la placa de bornas del motor. (**triángulo o estrella)**. Veamos el caso más habitual el **motor 400/230V**.

LÍNEA DE 230V Y MOTOR 400/230V.



Giro a la derecha | *Giro a la izquierda*

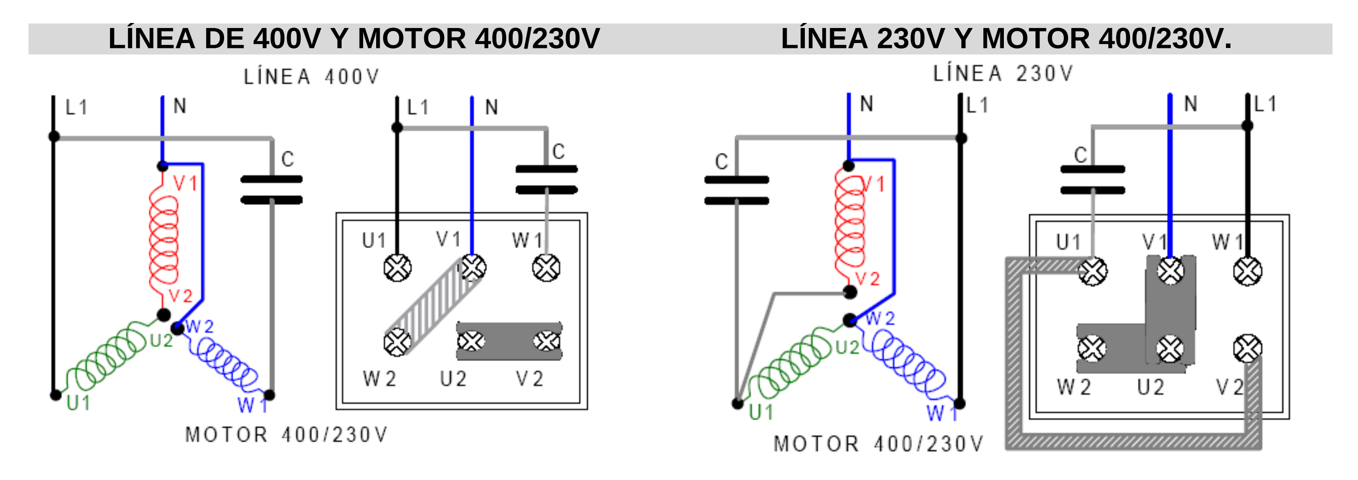
LÍNEA DE 400V Y MOTOR 400/230V.



Giro a la derecha | ***Giro a la izquierda***

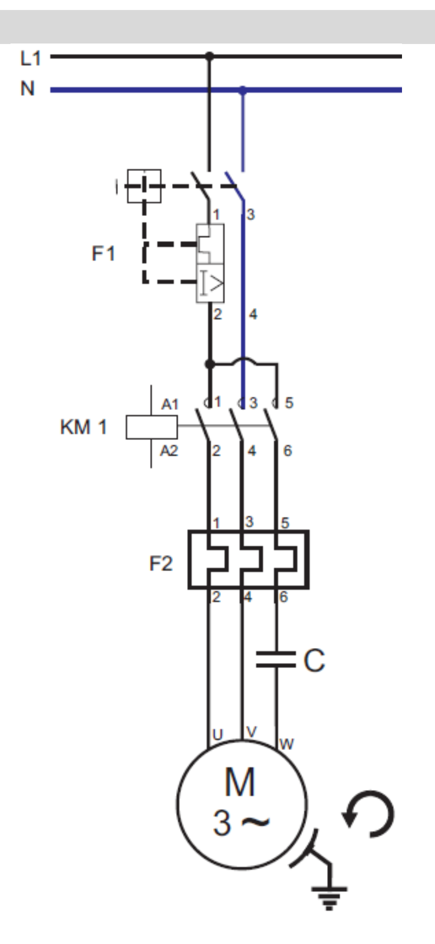
También se pueden realizar estas conexiones, pero no son habituales, ya que requieren la realización de puentes especiales en la placa de bornas y no se pueden realizar con los suministrados por el fabricante, resultando más engorroso su realización.

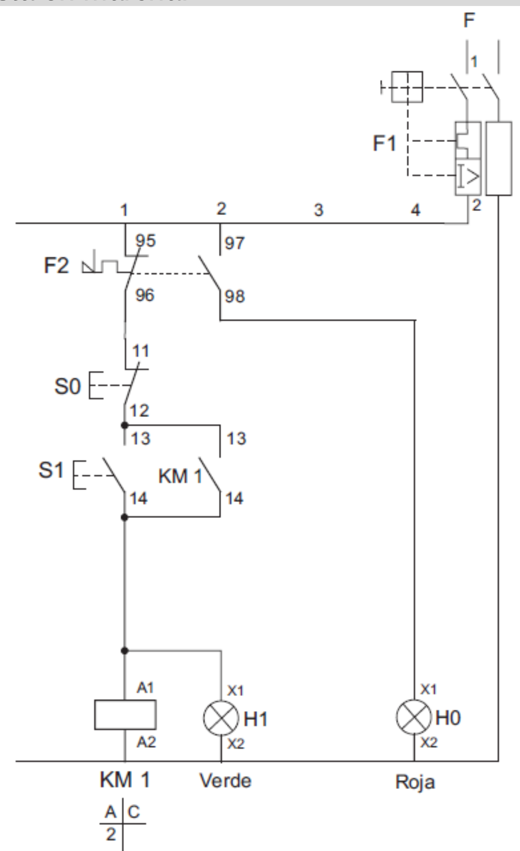
LÍNEA DE 400V Y MOTOR 400/230V | **LÍNEA 230V Y MOTOR 400/230V.**



Para conseguir que el par de arranque sea igual que usando línea trifásica, se podrá conseguir si durante el tiempo de arranque, se conecta un condensador en paralelo con capacidad doble al usado en el circuito. Una vez arrancado el motor, el segundo condensador ha de ser desconectado.

Esquema de puesta en marcha.





Esquema de puesta en marcha mediante condensador adicional.

